L'ONDE ÉLECTRIQUE

29e ANNÉE No 262
JANVIER 1949
PRIX : 160 FRANCS

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉTIENNE CHIRON, ÉDITEUR, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6e

PROPERTY OF
TECHNICAL LIBRARY
Bell Telephone Laboratories

LIRE DANS CE NUMERO

Introduction à la Radionavigation.
P. DAVID.

Le Navigateur "Decca", système de navigation hyperbolique.
P. GIROUD et L. COUILLARD.

La radionavigation aérienne en temps de guerre. — GUIGONIS.

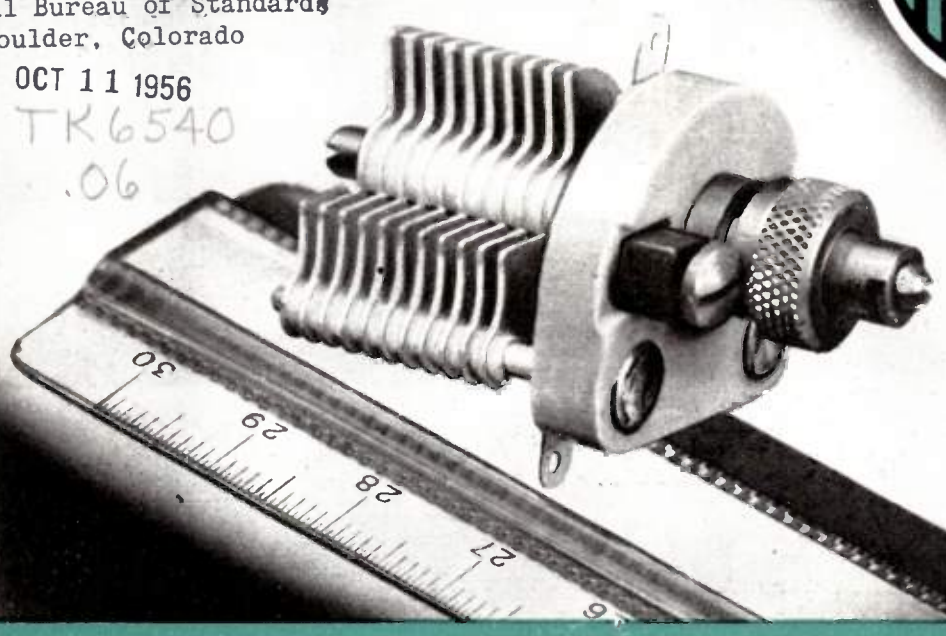
La modernisation des pièces détachées radio (1re partie). — M. E. CAYE.

Etude des reflexions dans les lignes de transmission en hyperfréquences.
M. BOUIX.

La correspondance entre les caractéristiques statiques et les paramètres dynamiques des organes électriques à résistance negative.
G. CARTIANU.

AJUSTABLE À AIR
TROPICALISÉ
À ROTOR BLOCABLE

ARENA



SÉRIE A.R.T

ATELIERS R.HALFTERMEYER. 35, Av.e Faidherbe
MONTREUIL S/BOIS (Seine) = TÉL.: AVRON 28-90

Library
Boulder Laboratories
National Bureau of Standards
Boulder, Colorado
OCT 11 1956
TK6540
.06

CABLES ISOLÉS AU styroflex...

Coaxiaux en paires symétriques en quartes souples, rigides pour H. F. et M. F.
Les meilleures caractéristiques de transmission. Qualité et régularité.
Pour téléphonie multiple, Radiodiffusion, Radiogoniométrie, Télévision, etc.

DIRECTION SERVICES COMMERCIAUX
89, RUE DE LA FAISANDERIE - PARIS (16e)

L.T.T

SERVICES D'INSTALLATION - LABORATOIRES
TÉLÉPHONE : TROCADÉRO 12-71 et 12-85

PUBLIPITEC DOMENACH

Régisseur exclusif de la Publicité de l'Onde Electrique : Agence-Publipitec-Domenach, 21, Rue des Jeuneurs, PARIS-2e, Tél. CENtral 97-63

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

ABONNEMENT, D'UN AN	ÉDITIONS	Prix du Numéro :
FRANCE. . . . . 1650 »	Etienne CHIRON	160 francs
ETRANGER. . . . . 1950 »	40, Rue de Seine — PARIS (6e)	
	C. C. P. PARIS 53-35	

Vol. XXIX **JANVIER 1949** **Numéro 262**

SOMMAIRE

		Pages
Introduction à la Radionavigation	P. DAVID	3
Le Navigateur "Decca", système de navigation hyperbolique	P. GIROUD et L. COUILLARD	5
La radionavigation aérienne en temps de guerre	GUIGONIS	21
La modernisation des pièces détachées radio (1re partie)	M. E. CAYE	26
Etude des réflexions dans les lignes de transmission en hyperfréquences	M. BOUIX	35
La correspondance entre les caractéristiques statiques et les paramètres dynamiques des organes électriques à résistance négative	G. CARTIANU	44
Analyses		I à 4 A

Sur la couverture :

Dans la chambre de navigation, un officier fait le point à l'aide du "Navigator Decca" (Société Française Radio-Electrique.)

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

FONDATEURS

† Général FERRIÉ, Membre de l'Institut.

† H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne.
† A. BLONDEL, Membre de l'Institut.
P. BRENOT, Directeur à la Cie Générale de T. S. F.
J. CORNU, Chef de bataillon du Génie e. r.
† A. PÉROT, Professeur à l'Ecole Polytechnique.
† J. PARAF, Directeur de la Sté des Forces Motrices de la Vienne
La Société des Ingénieurs Coloniaux.

BUTS ET AVANTAGES OFFERTS

La Société des Radioélectriciens, fondée en 1921 sous le titre « Société des Amis de la T. S. F. », a pour buts (art. 1 des statuts) :

1° De contribuer à l'avancement de la Radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des Sciences et Industries qui s'y rattachent;

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Les avantages qu'elle offre à ses membres sont les suivants

1° Service gratuit de la revue mensuelle *l'Onde Électrique*,

2° Réunions mensuelles, avec conférences, discussions et expériences sur tous les sujets d'actualité technique ;

3° Visites de diverses installations radio-électriques : stations d'émission et de réception, postes de navires et d'avions, laboratoires, radiophares expositions, studios, etc. ;

4° Renseignements de tous ordres (joindre un timbre pour la réponse).

COTISATIONS

Elles sont ainsi fixées

1° Membres titulaires, particuliers ..... 800 fr.
— sociétés ou collectivités..... 5.000 fr.

2° Membres titulaires, agés de moins de vingt-cinq ans, en cours d'études ..... 500 fr.

Les membres de ces deux catégories, résidant à l'étranger, doivent verser en plus un supplément pour frais postaux de 200 fr.

3° Membres à vie :

Les particuliers, membres titulaires, peuvent racheter leur cotisation annuelle par un versement unique égal à quinze fois le montant de cette cotisation, soit ..... 12.000 fr.

4° Membres donateurs:

Seront inscrits en qualité de donateurs, les membres qui auront fait don à la Société, en plus de leur cotisation, d'une somme égale au moins à ..... 3.000 fr.

5° Membres bienfaiteurs :

Auront droit au titre de « Bienfaiteurs », les membres qui auront pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives, pour favoriser les études ou publications techniques ou scientifiques de la Société une subvention d'au moins ..... 10.000 fr.

Adresser la correspondance administrative et technique, et effectuer le versement des cotisations à l'adresse suivante

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
14, avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine)
Tél. : ALÉSIA 04-16 — Compte de chèques postaux n° 697-88
Les correspondants sont priés de rappeler chaque fois le numéro d'inscription porté sur leur carte.
CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 20 francs à toute demande.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

R. Mesny (1935) — † H. Abraham (1940).

ANCIENS PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ

MM.

1922 M. de Broglie, Membre de l'Institut.
1923 H. Bousquet, Prés. du Cons. d'Adm. de la Cie Gle de T. S. F.
1924 R. de Valbreuse, Ingénieur.
1925 † J.-B. Pomey, Inspecteur général des P. T. T.
1926 E. Brylinski, Ingénieur.
1927 † Ch. Lallemand, Membre de l'Institut.
1928 Ch. Maurain, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris
1929 † L. Lumière, Membre de l'Institut.
1930 Ed. Belin, Ingénieur.
1931 C. Gutton, Membre de l'Institut.
1932 P. Caillaux, Conseiller d'Etat.
1933 L. Bréguet, Ingénieur.
1934 Ed. Picault, Directeur du Service de la T. S. F.
1935 R. Mesny, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Electricité.
1936 R. Jouaust, Directeur du Laboratoire Central d'Electricité.
1937 F. Bedeau, Agrégé de l'Université, Docteur ès sciences.
1938 P. Franck, Ingénieur en chef de l'Aéronautique.
1939 † J. Bethenod, Membre de l'Institut.
1940 † H. Abraham, Professeur à la Sorbonne.
1945 L. Boutheillon, Ingénieur en chef des Télégraphes.
1946 R.P. P Lejay, Membre de l'Institut.
1947 R. Bureau, Directeur du Laboratoire National de Radioélectricité.

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président :

M. Louis de Broglie, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences

Vice-Présidents :

MM. M. Ponte, Directeur du C. R. T. de la Cie Gle de T. S. F
R. Barthélemy, Membre de l'Institut.
P. Abadie, Ingénieur en chef au L. N. R.

Secrétaire général :

M. R. Rigal, Inspecteur général adjoint des P. T. T.

Trésorier :

M. R. Cabessa, Ingénieur au L. C. T.

Secrétaires :

MM. L. J. Libois, Ingénieur des P. T. T.
Y. Angel, Ingénieur à la Radiodiffusion Française.
M. Piron, Ingénieur du Génie Maritime.

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Présidents	Secrétaires
1	Etudes générales.	M. de Mare.	M. Fromy.
2	Matériel radioélectr.	M. Aubert.	M. Adam.
3	Electro-acoustique.	M. Bedeau.	M. Poincelot.
4	Télévision	M. Mallein.	M. Angel.
5	Hyperfréquences.	M. Goudet.	M. Guénard
6	Electronique.	M. Léauté	M. Brachet.
7	Documentation.	M. Villeneuve	M. Charlet.

Les adhésions pour participation aux travaux des sections doivent être adressées au Secrétariat de la Société des Radioélectriciens, 10 avenue Pierre-Larousse, à Malakoff (Seine).

INFORMATIONS

OFFRES D'EMPLOIS

034. — Importante Société demande pour Laboratoire de RECHERCHES EN HYPERFRÉQUENCES. AGENTS TECH. 2e et 3e catég. ayt expérience éprouvée en matériel RADIO-ÉLECTRIQUE PROFESSIONNELLE TÉLÉVISION OU RADAR. 48 h. Cantine, Avant. Sociaux. S'adr. matin sauf samedi, 29 bis, rue de Cronstadt (15e) Laboratoire Hyperfréquences Thomson-Houston.

035. — Importante Société demande deux ingénieurs au courant électronique et technique du vide, pour Service études, un ingénieur ayant sérieuses connaissances en électricité. Téléphoner pour rendez-vous à PER. 34-00, poste 300, Melle Bour.

LISTE DES NOUVEAUX MEMBRES

MM.	Présentés par MM.
Banfi Alessandro, Ingénieur	Mallein.
Barraqué Joseph, officier d'aviation	Rigal.
Boltz René, étudiant école Centrale de T. S. F.	Quinet.
Boucher Pierre, étudiant E. S. F.	Urbah.
Bourret André, contrôleur I. E. M. des P. T. T.	Rigal.
Bresson André, étudiant école Centrale de T.S.F.	Quinet.
Brey Michel, étudiant école centrale de T. S. F.	Quinet.
Carneiro da Silva, Mario de Figueiredo, étudiant Radio E. S. E.	Dauphin.
Dardel Jean, officier	Dauphin.
Deragobian Roger, étudiant école centrale de T. S. F.	Quinet.
Douet Francis, contrôleur I. E. M. des P. T. T.	Libois.
Duchene Pierre, Ingénieur E. C. P.	Girardin.
Dufrene Robert, étudiant école Centrale de T. S. F.	Quinet.
Eliot Jean, étudiant école Centrale de T. S. F.	Quinet.
Farcy Maurice, Ingénieur Civil	Girardin.
Gaillat André, étudiant.	Avelino.
Gamel Robert, contrôleur I. E. M. des P. T. T.	Libois.
Houdriard Jacques, étudiant E. S. S.	P. David.
Joseph John, Lieutenant	Dauphin.
Leconte Alfred, Ingénieur.	Laurens.
Lempérière Roger, étudiant E. S. E.	P. David.
Lhabitant Jean, Ingénieur stagiaire à l'E. D. F. (Service transmissions)	Revirieux.
Litaudon, étudiant école centrale de T. S. F.	Quinet.
Margot R., ingénieur.	Jacquier.
Métayer Georges, élève école centrale de T. S. F.	Quinet.
Michel Gabriel, ingénieur E. T. S. Marine.	J. Benoit.
Mongodin Guy, étudiant école centrale de T. S. F.	Quinet.
Ozel Ahmet, Ingénieur des télécommunications	Rigal.
Pagès Alix, étudiant à l'école centrale de T. S. F.	Quinet.

ERRATUM

Numérotation des figures de l'articles de M. NASLIN, numéro de novembre 1948

Page 449, *au lieu de* figure 7, *lire* figure 13 *d*
« 454, « 13 *a*, « 13 *f*
« « 13, *b*, « 13 *e*
« « 13, *c*, « 7

INTRODUCTION A LA RADIONAVIGATION

PAR

Pierre DAVID

Chef de la Section « Marine » du Centre National d'Etudes des Télécommunications

A la réunion du 20 mars 1948, au nom du Bureau de la Société, M. Pierre David a présenté le programme des Conférences sur la Radionavigation, prévues pour le 2e trimestre 1948, puis à partir d'octobre.

A cette occasion, et comme « Introduction », il a résumé les principales exigences des navigateurs, et proposé une classification des nombreux systèmes actuellement étudiés.

Nous ne publions pas intégralement son exposé, qui, d'une part, ferait double emploi avec d'autres articles antérieurement parus dans l'*Onde Electrique* (Voir notamment l'article de M. Penin, en mars 1948) et qui, d'autre part, sera repris avec plus de développement dans d'autres revues (*Annales des Télécommunications*, et *Revue Maritime*).

Nous nous bornons donc à reproduire ici les deux tableaux d'ensemble qu'il avait commentés (1), ainsi que la liste des Conférences annoncées :

Le point de vue de l'aviation de transport civil, par un représentant d'Air-France.

Le problème du guidage en temps de guerre, par le lieutenant de vaisseau Guigonis, de l'Aéronautique Navale.

Le système « Consol », le système « Loran », par M. Portier.

Le système « Shoran », par un représentant de l'Air.

Le système « Decca », par un représentant de la Société Française Radio-Electrique.

L'atterrissage sans visibilité :
Systèmes SCS 51 et ILS, par un représentant du Service de la Navigation Aérienne ;
Système « Sperry », par M. Fagot.

Le Radar de navigation des Laboratoires Radio-Electriques, par M. Kniazeff.

Répondeurs et Balises, par un représentant de la Section Air du Centre National d'Etudes des Télécommunications.

Le système complet de guidage « Federal Lab.», par M. Violet, des Laboratoires L. C. T.

Conclusions, par M. Besson.

I. — EXIGENCES DES NAVIGATEURS

	« POINT »	« ROUTE »	COLLISIONS
Longues Traversées (avion : h > 4 000 m)	*Portée* jusqu'à : D = 2 500 Km *Précision* : D/100 *Durée* : quelques minutes.	Tracée sur la carte par le navigateur.	Danger faible (altimètre).
Etapes moyennes (avion : h < 3 500 m)	*d°*	*Navire* : *d°* *Avion* : pas de navigateur ; route indiquée par cadran à aiguille sous les yeux du pilote : *a*) « homing » ; *b*) autre itinéraire fixe simple. *c*) au gré du pilote.	*d°*
Zone « cotière » ou « d'approche » : (5 à 50 ou 100 Km).	*Précision* : 200-800 m. *Durée* : tombant à quelques secondes	*d°* *En outre* : *Avion* : problème du « stationnement » ou « orbitage » en attendant son tour d'atterrir.	*Danger grave* : *a*) appareil de bord signalant l'approche des obstacles. *b*) contrôle et police de tous les mouvements à partir du sol.
Entrée dans le port ou : *Atterrissage.*	*Navire* : précision 50 m. *Durée* : instantanée.	*Navire* : balisage facultatif *Avion* : *en direction*, arrivée sur la piste à ± 20m. près. *en hauteur* : glissement sur axe incliné à − 2,5° ou − 3°— précision ± 0,25° (quelques mètres). Fin de la manœuvre à vue, si nécessaire.	*d°*

(1) Dans le tableau II, les chiffres accompagnant les procédés combinés indiquent les systèmes élémentaires formant la combinaison. Ainsi, le Système TELERAN comprend un calculateur (5), un radar avec émetteur et récepteur dirigés à impulsions (7 + 8), plus une Télévision.

II. — PROCÉDÉS TECHNIQUES DE RADIO-NAVIGATION

	λ	Mesures d'angles θ — Récepteurs dirigés (Emetteurs quelconques)		Mesures d'angles θ — (Récepteurs quelconques) Emetteurs à faisceaux dirigés — Fixes	Mesures d'angles θ — Emetteurs à faisceaux dirigés — Tournants	Mesures d'angles θ — Combinaisons	Mesures de distances — (Coord. circulaire) Distance R à 1 station pourvue de répondeur	Mesures de distances — (Coord. (Hyperbol.) Différence des distances (R-R') à 2 stations fixes synchronisées	Combinaisons — (Coord. polair.) R, θ monostatique avec répondeur obligé	Combinaisons — (Coord. polair.) R, θ monostatique sans répondeur obligé	Combinaisons — avec calculateur 5
O. ENTRETENUES (ou modulées)	Km Hm Dm	Cadre Gonio manuel et radio-compas automatique	Gonio Adcock à antennes différentielles	Cadres croisés guidage aérien U. S. A.	" CONSOL " " Navaglobe " " P. O. P. I. " 10			" DECCA "	« γ » « BENITO » 1 + 2	RADAR 7 + 8	" SPIDER WEBB " 3 + 4 + 5 (RCA) " TELERAN " 5 + 7 + 8 + Télévision
	m	6		(guidage) 1 " X " GERAT	Omnidirectional Range Beacon	Radiophare britann. V.H.F. « BERNHART » (allemd)	2		CONDAR 2 + 6		
	dm	gonios à miroirs réflecteurs, etc...		Atterrissage SCS 51 ILS SPERRY BABS 9 NAVAGLIDE						« Ground Control Approach	
IMPULSIONS	Km Hm	d°						" LORAN "		Radiovision du sol	(Federal) 5 + 7 + 8 + 9 " Navascreen " + Télévision " Navascope " + Transmissions pointées " NAVAMANDER "
	m				3 " John GILPIN "		4 " DME " " REBECCA " " OBOÉ " " SHORAN "	" GEE "			" BLOCK SYSTEM " (Saint)
	dm cm	7 NAXOS ATHOS		8			DME				

LE NAVIGATEUR "DECCA"

SYSTÈME DE NAVIGATION HYPERBOLIQUE [1]

PAR

M. P. GIROUD M. Brit. I.R.E.

Ingénieur-Chef

du Service Aviation et Guidage Maritime de la Société Française Radioélectrique

ET

M. L. COUILLARD

Ingénieur au Service Aviation et Guidage Maritime de la Société Française Radioélectrique

Le Navigateur Decca est un système de navigation hyperbolique dont le principe a été mis au point en Angleterre pendant la guerre.

La première application pratique a été faite à l'occasion du débarquement de Normandie, un grand nombre de navires de tous tonnages équipés de ce dispositif ont pu atteindre la côte française avec une précision de l'ordre de 20 m alors que les émetteurs se trouvaient situés à une distance de plus de 150 km.

La réussite de cette tentative, couronnant une série d'essais préalables ultra-secrets, a incité l'Amirauté Anglaise, dans la phase finale de la guerre, à utiliser ce procédé pour la navigation dans les bouches de l'Escaut. Les résultats obtenus ont donné si pleinement satisfaction que la Société Decca entreprit, aussitôt après la capitulation de l'Allemagne, la construction d'émetteurs destinés à la navigation maritime dans les Eaux Britanniques.

La simplicité et la sécurité du procédé permettent d'espérer la généralisation de l'emploi du Navigateur Decca, non seulement pour la navigation maritime, mais aussi pour la navigation aérienne.

PRINCIPE

Le Navigateur Decca est basé sur la comparaison des phases de 2 ondes entretenues pures, émises par 2 émetteurs synchronisés.

Soient (fig 1) 2 émetteurs A et B espacés géographiquement d'une distance S. Supposons que ces émetteurs rayonnent 2 ondes synchronisées de même longueur d'onde λ.

On démontre facilement que le lieu géométrique de la surface terrestre, supposée plane, où l'on reçoit les ondes avec une différence de phase déterminée, est une famille d'hyperboles homofocales. En particulier, si les 2 émetteurs A et B sont en phase et si la distance S est un nombre entier de longueurs d'onde, le lieu géométrique des points où les 2 émetteurs sont reçus en phase est une famille d'hyperboles de foyers A et B. La distance séparant les sommets de 2 hyperboles consécutives est $\frac{\lambda}{2}$. Dans ce cas, l'hyperbole, dont le sommet se trouve au milieu de l'axe focal, se confond avec la médiatrice

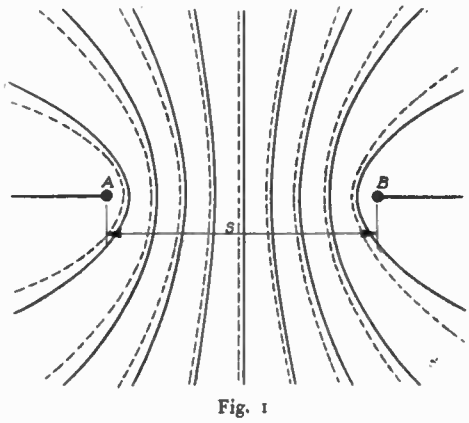


Fig. 1

de cet axe. Dans le prolongement de l'axe focal, les hyperboles se confondent avec des demi-droites.

Le réseau d'hyperboles correspondant à la réception à égalité de phases des 2 ondes synchronisées émises par les 2 émetteurs A et B est représenté en traits gras. Le lieu des points où les 2 émetteurs sont reçus avec une différence de phase déterminée est une famille d'hyperboles dans laquelle les sommets de 2 hyperboles consécutives sont toujours distants de $\frac{\lambda}{2}$, mais décalés des sommets des hyperboles de

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 30 juin 1948.

l'autre famille d'une distance proportionnelle à θ. Ces hyperboles sont représentées en pointillé sur la fig 1.

Pour un récepteur se déplaçant toujours dans le même sens, sur une ligne coupant les hyperboles, la différence de phases des ondes reçues varie d'une façon continue de 0 à 360°, d'une hyperbole à la suivante.

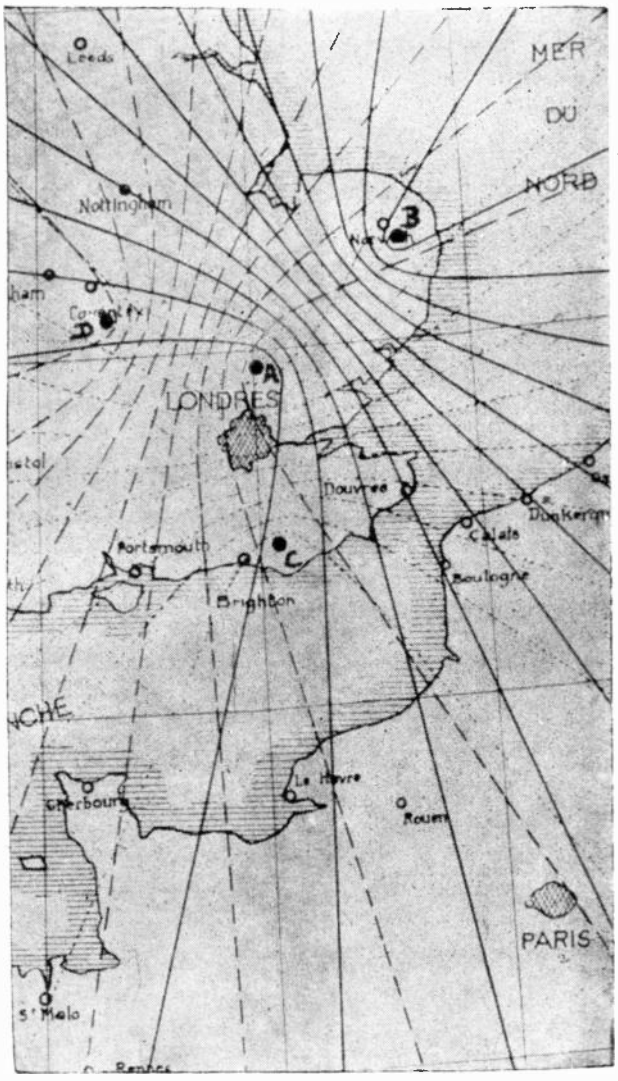


Fig. 2

Par convention, nous admettrons, quand nous parlerons d'hyperboles, que ce sont des hyperboles à égalité de phases. Pour toutes les autres hyperboles du réseau, il sera toujours précisé à quelle différence de phase elles correspondent. En un point quelconque de la région couverte par les émissions des postes émetteurs, un récepteur à 2 voies, muni à sa sortie d'un phasemètre, permet de déterminer la position du récepteur entre 2 hyperboles consécutives, sans pouvoir préciser entre quelles paires d'hyperboles est situé le récepteur. L'incertitude est levée par un procédé de comptage ; le phasemètre est construit de façon telle, que pour un changement de phase de 360°, c'est-à-dire lorsque le récepteur se déplace d'une hyperbole à l'hyperbole voisine, l'aiguille indicatrice fait un tour complet du cadran. Par l'intermédiaire d'un jeu de pignons, l'aiguille entraîne un système de comptage du nombre de tours effectués.

L'ensemble phasemètre-compteur, que nous appellerons désormais indicateur, peut donc, d'une part, enregistrer le nombre d'hyperboles traversées et, d'autre part, situer le récepteur sur une hyperbole de phase déterminée par rapport à l'hyperbole voisine d'égalité de phases. Les hyperboles étant repérées sur la carte par une lettre suivie d'un nombre de 2 chiffres, il suffit de régler le compteur sur le numéro de l'hyperbole la plus voisine du lieu de départ ; il enregistre alors chaque passage et, par suite, indique le numéro de la courbe traversée par le récepteur. Il y a lieu de remarquer qu'il est nécessaire de régler le compteur seulement, car l'aiguille trotteuse de l'indicateur prend automatiquement la position correspondant à la différence de phase. Le cadran, parcouru par l'aiguille, est divisé en 100 parties ; la position est donc obtenue avec précision, entre 2 lignes du réseau tracé sur la carte. En effet, dans la région parisienne, par exemple, à une distance de 400 km du centre de la Chaine de la Tamise, la distance de 2 hyperboles est de l'ordre de 3 000 m. Le 100e correspond donc à 30 m.

En pratique, il est impossible de séparer, dans un récepteur, deux ondes de même fréquence. On utilise des émissions sur des ondes de fréquences différentes qui seront reçues dans 2 voies distinctes du récepteur ; ces fréquences sont, après multiplications convenables, amenées à une même fréquence. Le phasemètre compare les phases des 2 réceptions sur la fréquence transformée qui est, par suite, appelée fréquence de comparaison. Le réseau d'hyperboles tracé sur la carte, correspond à cette fréquence.

Un réseau de 2 émetteurs ne permet pas de fixer la position du mobile portant le récepteur.

Le point est obtenu par l'intersection de 2 hyperboles provenant de 2 réseaux différents. Pour éviter les régions d'imprécision, c'est-à-dire celles se trouvant dans le prolongement des axes focaux ou celles dans lesquelles les hyperboles se coupent sous des angles trop faibles, on est conduit, pour avoir une couverture complète, à utiliser des chaines d'émetteurs formant 3 réseaux d'hyperboles. La fig 2 représente les 3 réseaux de la chaine de la Tamise.

Un Poste A, dit Poste Principal, est commun aux 3 réseaux. Les Postes d'émission B,C,D, sont pilotés par le Poste A, et leurs fréquences d'émission sont maintenues automatiquement dans le rapport voulu ; ils sont appelés « Postes asservis ». Les 3 réseaux d'hyperboles ainsi obtenus sont différenciés sur les cartes par les couleurs conventionnelles : réseau AB, rouge ; réseau AC, vert ; réseau AD, violet.

La couverture complète des zones de navigation sera assurée par un certain nombre de chaînes identiques différant seulement par les fréquences d'émission.

La couverture générale peut être faite avec 5 jeux de fréquences seulement, ce qui conduit à utiliser un récepteur à 5 fréquences sélectées par quartz.

Le système fonctionne sur ondes entretenues pures ; les fréquences des différentes chaînes peuvent être très voisines. La fréquence de base étant 85 Kc/s,

l'écart de fréquence de deux chaînes voisines est seulement de 300 c/s.

CARTOGRAPHIE

Pour l'utilisation du Navigateur Decca à la navigation maritime, il suffit d'utiliser les cartes habituelles sur lesquelles sont tracées les réseaux d'hyperboles.

Dans le cas de l'aviation, le problème est plus complexe car la facilité de lecture des indicateurs et l'exploitation directe, sans correction, met le système à la disposition du pilote sans qu'il soit besoin d'avoir recours à un navigateur spécialisé. Il faut donc avoir une carte de format réduit et facile à lire.

met, en outre, de connaître, à chaque instant, l'écart par rapport à la route théorique et la distance restant à parcourir et, par conséquent, de prévoir rapidement, avec précision, l'heure d'arrivée. Sur la même feuille sont figurés, à grande échelle, les terrains de départ et d'arrivée avec les réseaux d'hyperboles.

L'usage de telles courbes est facilité par l'appareil porte-carte, fig 6.

IDENTIFICATION DES HYPERBOLES

Le fonctionnement du Navigateur Decca suppose que le calage des compteurs a été fait lorsque le récepteur occupe une position connue et que le fonctionnement a été continu. Dans le cas où il n'est

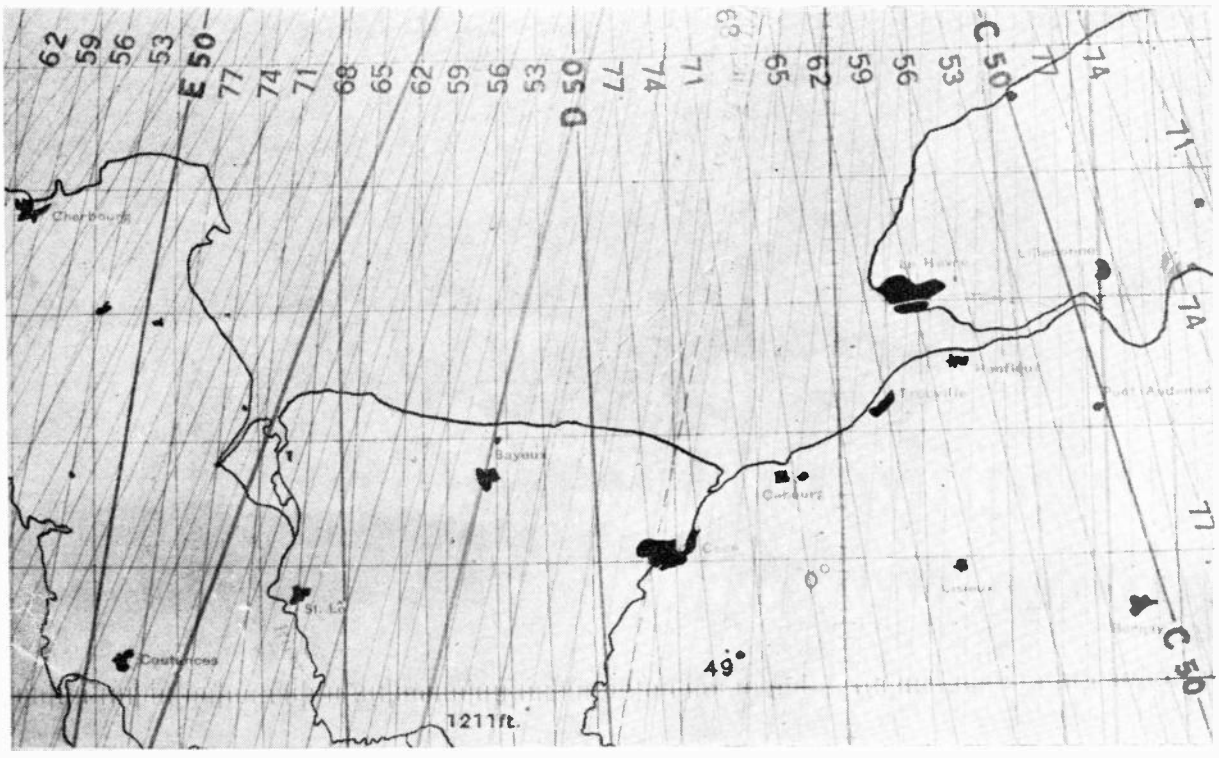


Fig. 3

Les cartes initiales, établies par la R.A.F. sont à l'échelle du 1/1 000 000 et ne comportent qu'un fond simplifié à l'extrême (fig 3) elles peuvent être utilisées pour la navigation générale. Mais les essais faits en France, au centre de Bretigny, ont montré que pour cet usage, les cartes à l'échelle 1/2 000000 sont suffisantes.

La fig 4 montre un exemplaire de ces cartes sur lequel le pilote a porté, périodiquement, sa position, d'après les chiffres relevés sur les indicateurs, ainsi que l'heure du relèvement.

Pour les lignes régulières des Compagnies Aériennes de Navigation, il est commode de faire usage d'une courbe représentant le trajet direct en coordonnées Decca et ramenée en coordonnées rectangulaires.

La fig 5 représente une telle courbe établie pour le trajet Paris-Londres. Cette représentation permet, en outre, de connaître, à chaque instant, l'écart par rapport à la route théorique et la distance restant à parcourir et, par conséquent, de prévoir rapidement, avec précision, l'heure d'arrivée. Sur la même feuille sont figurés, à grande échelle, les terrains de départ et d'arrivée avec les réseaux d'hyperboles.

L'usage de telles courbes est facilité par l'appareil porte-carte, fig 6.

pas possible d'effectuer le calage de l'indicateur d'après un point géographique précis, ou lorsque, par suite d'un incident, le compteur a cessé de fonctionner, il est nécessaire de pouvoir déterminer les numéros des hyperboles des réseaux utilisés, par le fonctionnement même du système de navigation. A cet effet, toutes les deux minutes, le réseau normal d'hyperboles est remplacé, pendant un temps très court, une fraction de seconde, par un réseau dans lequel la distance séparant 2 hyperboles est considérablement plus grande. Un phasemètre spécial fixe la position du récepteur dans ce nouveau réseau et, par suite, donne, par lecture directe, les numéros de la courbe du réseau normal. Il y a lieu, toutefois, de préciser que, pour chaque réseau, les hyperboles sont groupées en zones différenciées par des lettres. Dans le réseau rouge, chaque zone comprend 24 hyperboles, elle en comprend 18 dans le

réseau vert et 30 dans le réseau violet. Le système automatique d'identification donne le numéro de l'hyperbole à l'intérieur d'une zone, mais ne précise pas la zone. Celle-ci est déterminée par des recoupements très simples en évitant ainsi le recours à un matériel plus complexe et plus lourd.

ESSAIS EFFECTUÉS EN FRANCE

La France s'est intéressée, dès 1946, au Navigateur Decca et, depuis cette date, 4 organismes officiels ont entrepris des essais systématiques.

Pour la Marine : le Service Central Hydrographique.

Pour l'Air : Le centre d'Essais en Vol de Brétigny (C.E.V.), le centre d'Expériences Aériennes Militaires (CEAM) et la Direction Technique de la Compagnie Air-France.

Tous les essais effectués ont utilisé les émissions de la chaîne de la Tamise. Ils ont été gênés, en partie, par le fait que les longueurs d'ondes utilisées pour cette chaîne n'étaient pas encore homologuées par la Conférence Internationale d'Atlantic City et que, diverses stations d'émission fonctionnaient sur des longueurs d'ondes identiques ou voisines. D'autre part, la plupart de ces essais ont été faits avec des récepteurs expérimentaux dépourvus de quartz, ayant des bandes passantes de l'ordre de 2 Kc/s et sensibles, par suite, aux brouillages dus aux émetteurs de longueur d'onde voisine, et aux atmosphériques.

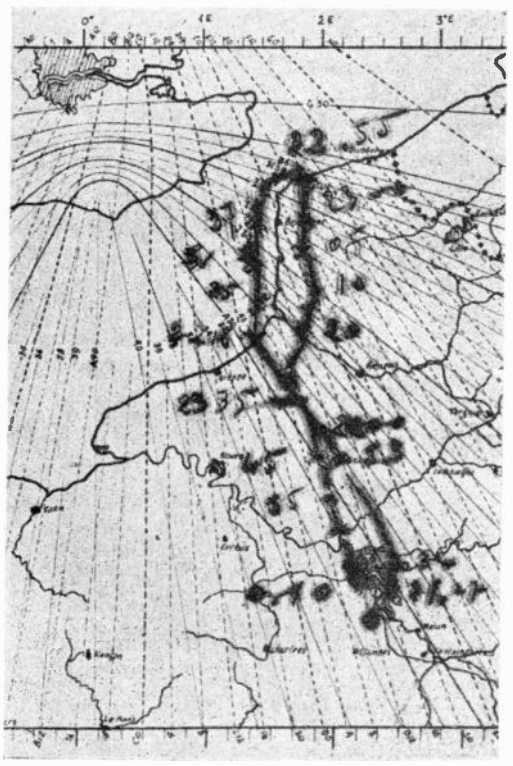


Fig. 4

Les essais ont comporté plus de 2 000 heures d'observation et ont été effectués, soit à distance normale d'utilisation, soit à très grande distance. On peut souligner que les conditions de ces essais ont été plus dures que les conditions normales d'emploi. Néanmoins, les résultats obtenus sont extrêmement probants.

Les rapports établis par les utilisateurs font ressortir un certain nombre d'avantages et confirment

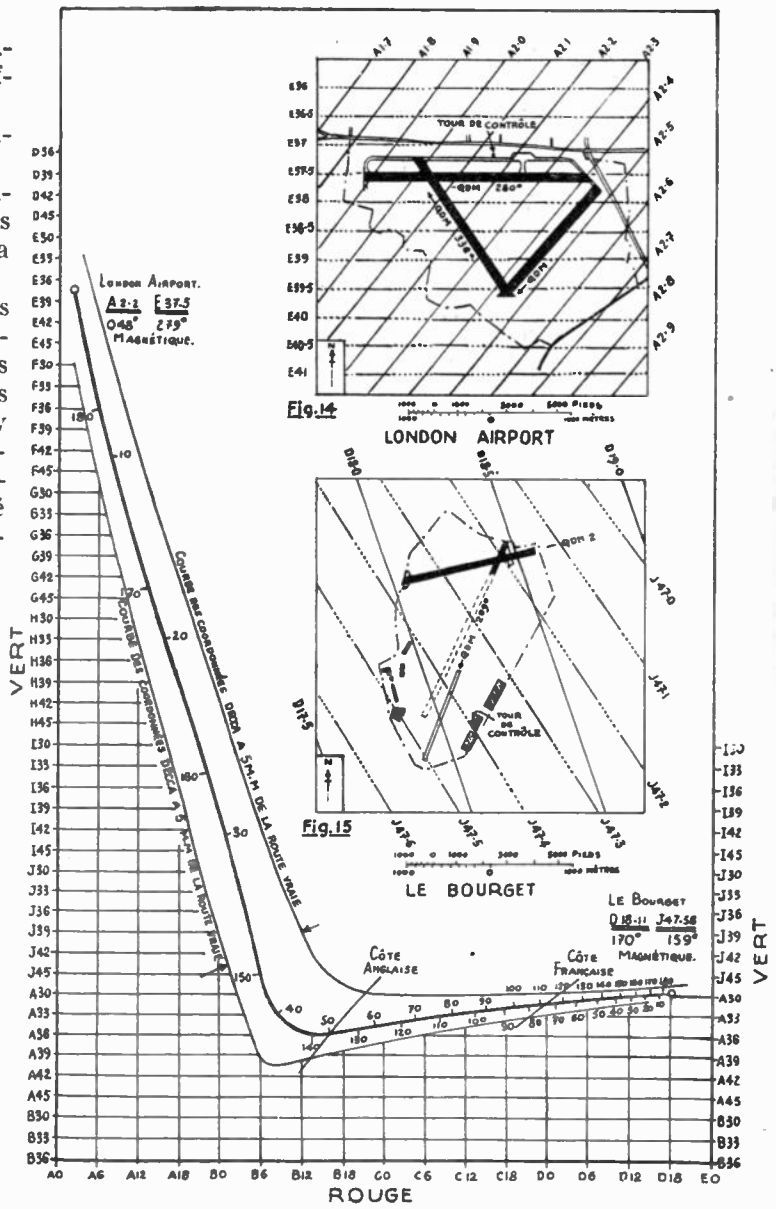


Fig. 5

les théories qui avaient été établies à priori. Ces résultats concernent, non seulement la facilité d'utilisation, la portée, la précision, mais également l'effet de nuit, l'influence du relief, l'action du brouillage et des parasites.

C'est à ces rapports que nous aurons recours pour préciser les performances du Navigateur Decca.

Facilités d'utilisation.

AIR-FRANCE.

D'un commun accord les utilisateurs reconnaissent que le Decca est un dispositif dont l'utilisation

est très simple et ne demande de la part du pilote, que le minimum de manœuvres et d'attention.

Mais nous tenons à signaler qu'il n'en est pas de même lorsque l'on se trouve à proximité des émetteurs, surtout si l'on suit une route qui coupe les hyperboles, la lecture devient alors assez fatigante et si l'on doit un jour placer de nouvelles chaînes Decca, il serait souhaitable qu'elles soient en dehors des principales routes et surtout des centres de grande circulation aérienne.

C.E.A.M.

L'utilisation de l'appareil est très simple et consiste en la lecture d'une lettre de zone, suivie du numéro entier indiqué par la grande aiguille et des dixièmes et centièmes donnés par la trotteuse.

Chaque indicateur fournit ainsi une ligne de position et l'on peut choisir les deux réseaux qui se

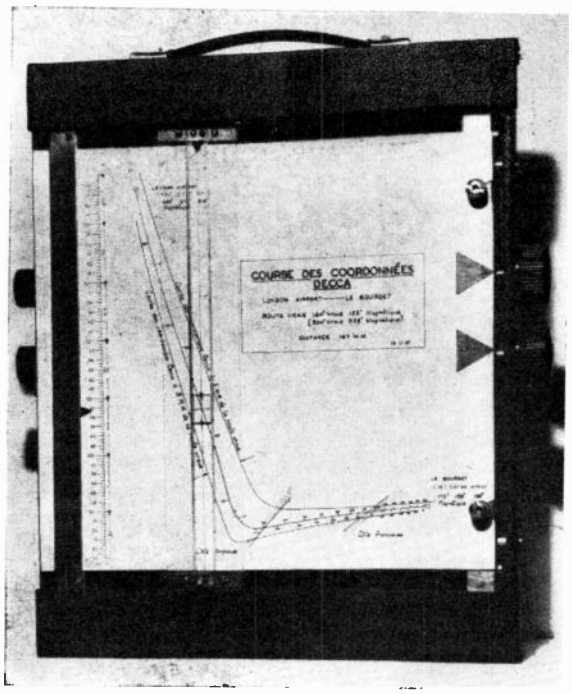


Fig. 6

coupent sous l'angle le plus favorable pour la région considérée. Les lectures faites, il suffit de les reporter sur une carte des réseaux. Un entraînement d'une heure environ suffit à un pilote ou un navigateur normal pour savoir utiliser le Decca.

Portée.

C.E.V.

Le fonctionnement du Decca a été étudié bien au-delà de la portée normale du système jusqu'à environ 2 000 km des émetteurs.

Itinéraire.

Bretigny, Marignane, Alger, Colomb-Bechar, Fès, - Alger, Marignane, Bretigny.

Réception bonne ou encore exploitable sauf au passage d'un front au Nord des Baléares et dans la région de Fès. Le voyage a consisté, surtout, à suivre des hyperboles.

En Méditerranée, à environ 1 200 km de la station principale, les indications Decca ont permis de redresser une erreur de navigation.

Un exercice de ralliement suivant l'hyperbole rouge C 17 a permis un passage à la verticale de l'îlot de Cabreira (Baléares).

La zone de silence au Nord des Baléares intéressait tous les appareils radioélectriques, le Consol en particulier.

AIR-FRANCE.

Sur la ligne Paris-Marseille, la réception est souvent insuffisante à partir de Valence et Montpellier (900 km environ).

(Il est nécessaire de faire remarquer que la portée de 900 km est obtenue, dans le cas d'Air-France en utilisant une simple antenne fouet de 1 m 50).

C.E.A.M.

L'emploi du Decca, de jour, au-dessus des zones françaises d'occupation en Allemagne, à des distances du centre de la chaîne variant entre 500 et 820 km, permit une bonne navigation par « points » (fixes) en utilisant les réseaux rouge et vert qui s'y coupent sous un angle de 5 à 8 degrés. Les erreurs sur les points ainsi obtenus allaient de 1,5 à 10 km.

Dans les régions où les hyperboles se coupent sous un angle trop faible pour donner un point correct, les lignes de position fournies par le Decca sont suffisamment stables et précises pour donner un point en complétant avec des relèvements obtenus par V.H.F. radiocompas ou tout autre procédé.

Les résultats obtenus en Afrique du Nord montrent que, de jour les signaux Decca sont utilisables jusqu'à 1 600 km du centre de la chaîne.

Précision.

C.E.V.

Un itinéraire (fig 7) a été suivi à 10 reprises sur 3 semaines consécutives par beau temps mais vent très variable. En suivant, le plus fidèlement possible, les indications du Decca, tous les itinéraires parcourus se sont superposés avec une fidélité de l'ordre du km.

Peu de procédés permettent, à 400 km de distance, une telle précision, pour un trajet complexe, suivi par le pilote lui-même à l'aide de deux indicateurs et d'un croquis memento.

La précision pratique, dans la zone d'utilisation normale qui s'étend à 500 ou 700 km du Maître, est de l'ordre du km. Elle est pratiquement limitée par le tracé sur la carte pour la navigation générale. Elle est encore meilleure pour le ralliement vers un point en suivant une hyperbole.

C.E.A.M.

La précision du système est bien supérieure à celle des appareils de radionavigation à grand débit existant actuellement.

AIR-FRANCE.

Ces essais permettent de constater que la précision du Decca est supérieure à celle que l'on peut obtenir de l'appréciation du passage à la verticale d'un point, si l'on n'est pas équipé d'un dispositif spécial de visée.

SERVICE CENTRAL HYDROGRAPHIQUE.

On ne saurait conclure définitivement sur la valeur d'un appareil comme le Navigateur Decca d'après des expériences d'aussi courte durée que celles effectuées par « l'Amiral Mouchez » en octobre.

Cependant, il n'est pas douteux que le procédé soit très intéressant pour la navigation courante, moyennant quelques précautions d'emploi. Dans toute l'étendue du Pas-de-Calais la précision du point Decca a toujours égalé celle d'un bon point par relèvements en vue et à petite distance de terre.

D'une façon générale, aux distances des émetteurs où l'on a opéré, qui sont de l'ordre de 150 à 200 km, la précision a été de moins de 1/10 de « chenal », le chenal ayant une largeur de 1 200 à 1 800 mètres, soit en combinant les deux réseaux rouge et vert, une précision de l'ordre de 180 mètres.

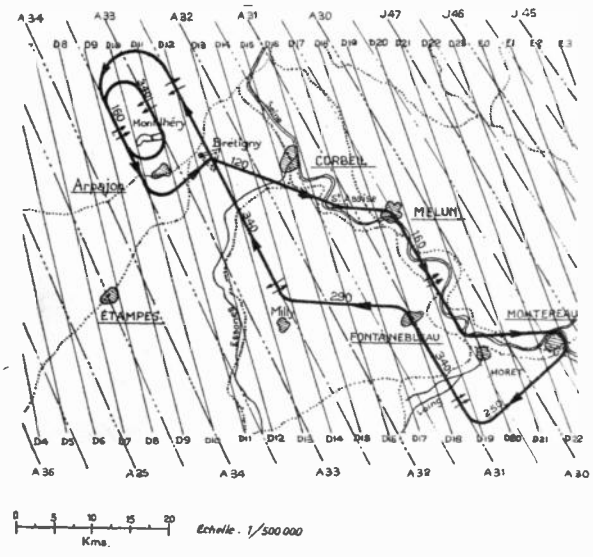


Fig. 7

Effets de nuit.

C.E.V.

Les effets de nuit n'ont pu faire l'objet d'observations prolongées ; les variations constatées permettent d'assurer qu'en arrivant au terrain en suivant une hyperbole, on peut être certain de couper l'axe du radio atterrissage en un point convenable.

AIR-FRANCE.

Sur Paris-Amsterdam, aucune anomalie. Très légers déplacements d'hyperboles dans la zone normale de couverture du Decca Sud de la Loire, ligne Nancy-Dijon.

C.E.A.M.

La portée garantie par le Decca est largement couverte de nuit. Les réseaux vert et rouge ont sensiblement la même stabilité de nuit et les lignes de position qu'ils fournissent sont utilisables bien au delà de la portée officielle.

L'effet de nuit se manifeste à grande distance de façon caractéristique et l'utilisateur est ainsi prévenu d'avoir à vérifier les indications du Decca soit par l'estimé, soit au moyen de l'identificateur.

Il semble, en outre, d'après un vol de nuit effectué à 1 800 km des stations d'émission, que les ondes réfléchies peuvent être utilisées pour établir un réseau de lignes de position à grande portée suffisamment stable.

Influence du relief.

C.E.V.

Il semble que le Decca ne soit pas nettement sensible aux réflexions en régions montagneuses « (observations sur le Mont Ventoux et au cours de 2 traversées du Massif Central) ».

C.E.A.M.

Une critique fréquemment faite aux aides de navigation radio-électriques est que leur emploi en région montagneuse donne des résultats souvent médiocres. Ceci est dû à différentes causes, plus ou moins bien définies du reste. Les massifs montagneux, se trouvant sur le trajet des ondes radioélectriques, peuvent faire écran et entraver leur propagation, ou les brouiller par des réflexions incontrôlables. En outre, la propagation des ondes n'est plus régulière car la conductivité du sol, dans les montagnes proprement dites, peut être énormément différente de ce quelle est dans les vallées cultivées qui en sont voisines.

Il convenait donc d'étudier le fonctionnement du Decca dans de telles conditions. Pour cela, un vol fut effectué de Romans à Grenoble en remontant la vallée de l'Isère. Puis vers Chambéry, Aix-les-Bains et le long du Rhône jusqu'à Bellegarde. Pendant tout ce vol, l'avion était à une altitude suffisamment basse pour que l'antenne réceptrice du Decca soit nettement dominée par les montagnes qui bordent les différentes vallées remontées.

Il ne fut malheureusement pas possible de répéter ce vol très intéressant, car il exige, à cause du relief tourmenté des régions survolées, des conditions atmosphériques particulièrement bonnes, mais, il ressort clairement de cette expérience que le système Decca est à même de donner des lignes de position très précises dans les régions montagneuses et dans les vallées très encaissées.

Action des brouillages et des parasites.

C.E.V.

Au cours d'un orage (Vol Horn-Bretigny) le Decca a fonctionné régulièrement alors que le trafic de l'avion sur 333 kc/s et 7415 kc/s était réduit de 90%.

AIR-FRANCE.

Le 23 septembre 1947, par forte turbulence et orage, le Decca a bien fonctionné.

Le 24 septembre 1947, déviation de 55/100 sur le rouge dans un cumulo-nimbus (saut d'une hyperbole).

Le 25 septembre 1947, bon fonctionnement par forte intensité de parasites. Aucun autre incident de fonctionnement dû aux parasites atmosphériques.

C.E.A.M.

En ce qui concerne les brouillages dûs à des émetteurs fonctionnant sur des fréquences voisines de celles utilisées à l'émission Decca, on a constaté quelques anomalies sur la chaîne violette qui, pratiquement, n'a pas été utilisée pendant toute la durée des essais, la station asservie correspondante étant gênée par l'émission des postes G.L.O. et H.B.A. Des essais ont été entrepris dès réception des nouveaux récepteurs à quartz et ont montré que les brouillages dûs à ces stations sont complètement éliminés.

D'autres observations ont été faites par la Société Air-France qui avait constaté l'arrêt de fonctionnement ou la suppression de la réception en passant dans le voisinage du poste de Ruyselede en Belgique ; cette station fonctionne sur 84,03 kc/s le poste pilote de la chaîne fonctionnant sur 85 kc/s. De nouveaux essais ont été faits avec le récepteur à quartz et, même au passage dans le voisinage ou à la verticale de la station de Ruyselede, aucune anomalie de fonctionnement n'a pu être décelée, même de nuit.

DÉVELOPPEMENTS DES APPLICATIONS

La Conférence d'Atlantic-City, d'octobre 1947, a réservé pour le Navigateur Decca, les bandes de fréquences suivantes :

Poste principal	84 — 86	kc/s
Postes asservis	70 — 72	kc/s
	112 — 115	kc/s
	126 — 129	kc/s

Ces fréquences étant relativement basses, la propagation suit la surface terrestre et la réception peut se faire à n'importe quelle altitude, elle est pratiquement indépendante du relief. Le système peut donc être employé par des navires, par des véhicules terrestres, par des avions.

Le gros avantage du Navigateur Decca par rapport aux systèmes qui fonctionnent sur ondes plus courtes, est que, ses indications sont reçues avec la même précision à toutes altitudes ; il en résulte donc une double économie d'installation et d'exploitation puisqu'il suffit d'un nombre de stations réduit.

Le système Decca a été adopté officiellement par les Marines Britannique, Danoise et Belge.

La Conférence Internationale sur les Aides radio à la Navigation Maritime qui s'est tenue à New-York et à New-London en 1947, a conclu « qu'en ce qui concerne la Navigation à petite et moyenne distance, le système Decca apparaît comme fournissant un système pour faire le point d'une précision qui répond aux exigences de la Marine et par conséquent devrait être perfectionné et étendu ».

La Conférence sur l'organisation de l'Aviation Civile et Internationale (O.A.C.I.) qui s'est tenue à Paris, en mai 1948 note que « l'installation et l'équipement Decca à bord des aéronefs devraient être encouragés aux fins d'essais complets du système ».

A la suite de ces diverses recommandations, le Ministère des Transports Britanniques a conclu un accord avec la Société Decca pour la construction,

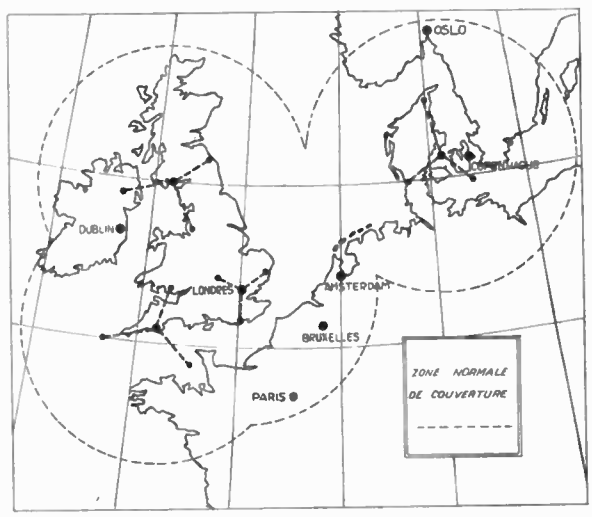


Fig. 8

dans le délai d'un an, de 2 chaînes supplémentaires en Angleterre. Les emplacements de ces chaînes au Nord et au Sud-Ouest des Iles Britanniques ont été choisis pour baliser, avec une précision supérieure, les régions de la Mer d'Irlande, de Liverpool et de la Tyne.

D'autre part, un contrat a été signé pour l'érection, au Danemark, d'une chaîne qui fonctionnera dès le mois d'août prochain.

La couverture du Nord de l'Europe occidentale sera ainsi assurée au début de 1949, conformément à la carte de la fig 8.

Une chaîne est en construction pour installation dans la région de New-York.

D'autres études sont en cours pour l'érection de chaînes en France, en Afrique du Nord, dans les possessions françaises africaines, en Italie, en Espagne, en Grèce, en Yougoslavie, et dans les pays scandinaves. Dans un avenir très proche, toute l'Europe Occidentale sera donc couverte d'un réseau Decca.

Des études sont également en cours pour le balisage de l'Australie et de la Nouvelle Zélande.

Dès maintenant, plus de 600 navires de diverses nationalités sont équipés pour utiliser les émissions de la chaîne de la Tamise. Leur navigation, dans les entrées de port et dans les estuaires sera réalisée par l'utilisation de chaînes d'émission à faible puissance, établies à proximité des itinéraires à baliser, le balisage pouvant être assuré avec une très grande précision.

Dans le domaine aérien, diverses Compagnies de Navigation s'intéressent au système. La première application régulière a été faite par les B.E.A. (British European Airlines) qui ont équipé tous leurs hélicoptères du Service Postal. De tous les systèmes

essayés, le Navigateur Decca est le seul qui assure des réceptions normales malgré la rotation des pales horizontales. C'est, également, le seul qui par sa rapidité de lecture, permettra de résoudre les problèmes qu'étudie présentement l'O.N.M. en particulier la détermination précise des conditions météorologiques relevées en vol et le repérage des nuages qui, par bombardement aérien, doivent être transformés en pluie.

D'autres applications sont également demandées au Navigateur Decca : pose des câbles sous-marins, relevage des mines, repérage des épaves, navigation automobile dans le désert ; mais la plus importante de ces applications secondaires est l'aide apportée aux travaux hydrographiques et aux relevés géographiques. On utilise, dans ce cas, des stations d'émission transportables érigées à proximité du lieu de travail.

Toutefois, l'emplacement de ces stations sera choisi de façon que les hyperboles se coupent suivant des angles aussi voisins que possible de 90°. Ainsi sera augmentée, notablement, la précision du système.

Le Service Hydrographique suédois et la Marine Royale danoise ont déjà acheté de telles chaînes. La chaîne mobile danoise a été essayée en 1947 au Groenland et sera utilisée dans le courant de cet été, pour des travaux hydrographiques.

FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

Comme on l'a vu précédemment, chacun des émetteurs composant une chaîne rayonne sur une fréquence différente. A la réception, chaque fréquence est multipliée dans un rapport convenable afin d'obtenir une fréquence commune de comparaison pour chaque groupe de deux émetteurs correspondant à un réseau d'hyperboles.

Soient F_1 et F_2 les fréquences des ondes rayonnées par deux émetteurs A et B.

Les courants, dans les antennes émettrices, peuvent être représentés respectivement par les expressions :

$$i_1 = I_1 \sin 2\pi F_1 t$$

$$i_2 = I_2 \sin 2\pi F_2 t$$

en supposant les phases égales à l'origine des temps. Les forces électromotrices correspondantes à l'entrée d'un récepteur situé à des distances d_1 de A et d_2 de B sont alors :

$$e_1 = K_1 \sin 2\pi F_1 \left(t - \frac{d_1}{v}\right)$$

$$e_2 = K_2 \sin 2\pi F_2 \left(t - \frac{d_2}{v}\right)$$

en appelant v la vitesse de propagation des ondes. Après multiplication de F_1 par un facteur $K_1 = \frac{F_c}{F_1}$ et de F_2 par un facteur $K_2 = \frac{F_c}{F_2}$, F_c étant la fréquence de comparaison, les tensions à la sortie des multiplicateurs sont :

$$v_1 = K'_1 \sin 2\pi F_c \left(t - \frac{d_1}{v}\right)$$

$$v_2 = K'_2 \sin 2\pi F_c \left(t - \frac{d_2}{v}\right)$$

Ces deux tensions étant de même fréquence, présenteront entre elles une différence de phase constante donnée par :

$$\varphi = 2\pi F_c \frac{d_1 - d_2}{v} = 2\pi \frac{d_1 - d_2}{\lambda_c}$$

On voit que tout se passe comme si les deux émissions étaient effectuées sur une longueur d'onde commune λ_c correspondant à la fréquence de comparaison F_c.

Les fréquences des émetteurs asservis étant stabilisées à partir de la fréquence de l'émetteur principal, il en résulte que les quatre fréquences d'émission d'une chaîne doivent être entre elles dans des rapports déterminés.

Pour obtenir ce résultat, les fréquences sont choisies de telle sorte qu'elles soient toutes multiples d'une même fréquence de base f.

Les fréquences des stations d'émission ont alors les valeurs relatives suivantes :

Station principale :	6 f
Station rouge	8 f
Station verte	9 f
Station violette	5 f

Pour la chaîne de la Tamise, par exemple, la fréquence de base étant f = 14,166 Kc/s, les fréquences des différentes stations sont :

Station principale :	85 kc/s
Station rouge	113,33 kc/s
Station verte	127,5 kc/s
Station violette	70,83 kc/s

A la réception, les fréquences de comparaison sont obtenues en multipliant la fréquence de l'émetteur principal et les fréquences des émetteurs asservis par les coefficients K donnés dans le tableau suivant :

Réseau	Station principale		Stations asservies		Fréquence de comparaison
	fréquence	K	fréquence	K	
Rouge	6f	4	8f	3	24f
Vert	6f	3	9f	2	18f
Violet	6f	5	5f	6	30f

Pour la chaîne de la Tamise, les fréquences de comparaison sont les suivantes :

Réseau rouge	340 Kc/s
Réseau vert	225 Kc/s
Réseau violet	425 Kc/s

Récepteur.

La fig 9 représente le schéma de principe du récepteur. L'antenne alimente simultanément 4 voies de réception distinctes correspondant aux quatre fréquences de la chaîne d'émetteurs.

Chaque voie comprend : un premier étage d'amplification H F suivi d'un filtre à quartz dont la bande passante à 6 db est de l'ordre de 60 c/s ce qui procure une valeur élevée du rapport signal-bruit. Faisant suite à ce filtre, un amplificateur à 3 étages H F élève le niveau du signal à une valeur suffisante, maintenue constante par un dispositif de contrôle automatique de gain.

Chacune des voies du récepteur, correspondant aux fréquences des émetteurs asservis, alimente un multiplicateur de rapport convenable (2 pour le vert, 3 pour le rouge, 6 pour le violet) fournissant la fréquence de comparaison voulue. La voie correspondant à la fréquence de l'émetteur principal alimente trois multiplicateurs séparés, de rapports respectifs 3, 4 et 5 fournissant simultanément les trois fréquences de comparaison. Pour effectuer la comparaison de phases d'un réseau, les deux tensions de même fréquence de comparaison issues, d'une part, de la voie de réception correspondante et d'autre part, de la voie de récepteur de l'émetteur principal sont appliquées simultanément à un discriminateur de phase suivi d'un amplificateur qui alimente l'indicateur.

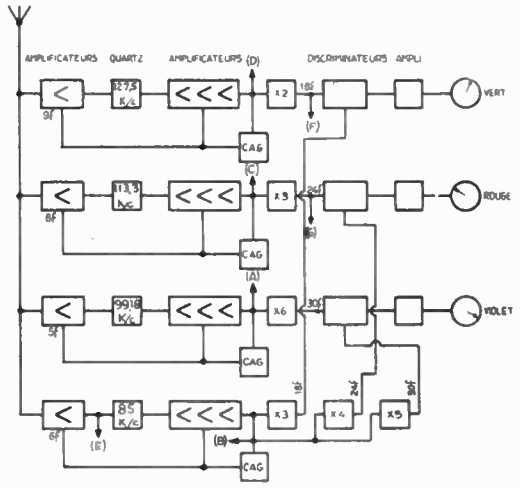


Fig. 9

Les points A B C D E F et G, du schéma, sont connectés au dispositif d'identification des hyperboles décrit plus loin.

Le discriminateur comporte deux détecteurs de phase dont l'un est représenté fig 10 (a). On voit sur cette figure que l'une des tensions V_A attaque, en phase, deux diodes D_1 et D_2, et l'autre tension V_B attaque ces deux diodes en opposition de phase. Les circuits de sortie des deux diodes sont connectés en montage différentiel.

La fig 10 (b) représente le diagramme vectoriel du détecteur de phase. On voit, d'après le diagramme, que les diodes D_1 et D_2 sont soumises respectivement à des tensions V_{D1} et V_{D2} telles que :

$$V_{D1}^2 = V_A^2 + \frac{V_B^2}{4} + V_A V_B \cos \varphi.$$

et $$V_{D2}^2 = V_A^2 + \frac{V_B^2}{4} - V_A V_B \cos \varphi.$$

En supposant la détection quadratique, le détecteur fournira une tension continue de sortie proportionnelle à $2 V_A V_B \cos \varphi$. Le deuxième détecteur de phase du discriminateur est identique au premier mais la tension V_A lui est appliquée après avoir subi un déphasage de $\frac{\pi}{2}$. Il en résulte que la tension continue de sortie est proportionnelle à $2 V_A V_B \sin \varphi$.

L'indicateur comporte deux bobines dont les axes font, entre eux un angle de 90°. Les deux tensions de sortie du discriminateur sont appliquées à ces bobines, après amplification convenable. Les champs, dans les deux bobines, ayant ainsi des intensités respectivement proportionnelles à cos φ et sin φ se composent pour donner un champ résultant d'intensité constante mais dont la direction fait un angle φ avec l'axe de l'une des bobines. (fig 11).

Un petit aimant mobile, situé dans le champ des bobines, s'oriente automatiquement de telle sorte que sa ligne NS coïncide avec la direction du champ. Il entraîne une aiguille, calée sur son axe, qui indique, directement, sur un cadran gradué, la valeur de l'angle φ.

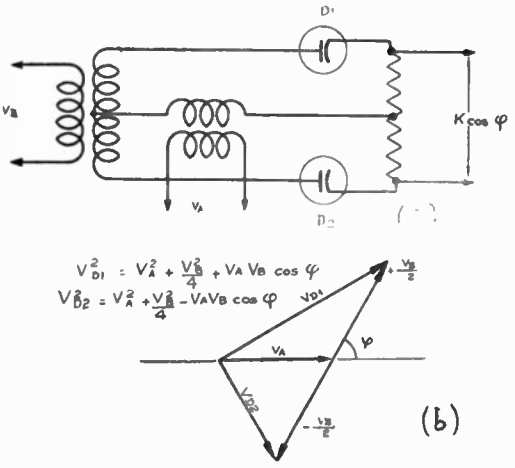


Fig. 10

Nous avons supposé que la détection des diodes D1 et D2 était quadratique ; en réalité cette détection est linéaire. Il en résulte donc une certaine erreur. La tension à la sortie du premier détecteur de phase est alors proportionnelle à :

$$V_{d1} = K \sqrt{V_A^2 + \frac{V_B^2}{4} + V_A V_B \cos \varphi} - \sqrt{V_A^2 + \frac{V_B^2}{4} - V_A V_B \cos \varphi}$$

K étant une constante,

et la tension à la sortie du 2e détecteur de phase est proportionnelle à :

$$V_{d^2} = K \sqrt{V_A^2 + \frac{V_B^2}{4} + V_A V_B \sin \varphi} - \sqrt{V_A^2 + \frac{V_B^2}{4} - V_A V_B \sin \varphi}$$

La direction du champ résultant de la fig 11 fait donc, avec l'axe de la bobine reliée au premier détecteur de phase, un angle φ^2 tel que :

$$tg\ \varphi^2 = \frac{V_{d2}}{V_{d1}}$$

Cette expression montre que $\varphi_2 = \varphi$ et par suite l'erreur est nulle pour $\varphi = K\frac{\pi}{2}$ et pour $\sin\varphi = \pm\cos\varphi$ c'est-à-dire pour $\varphi = \left(K + \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{2}$

On se trouve donc en présence d'une erreur octantale,

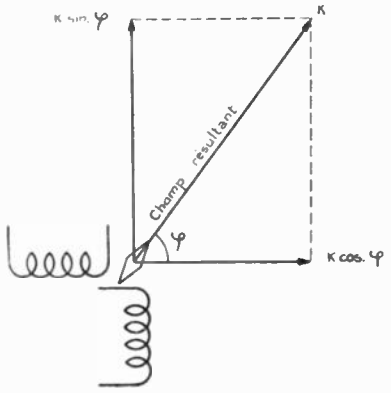


Fig. 11

ce qui réduit particulièrement son importance. D'autre part, le calcul montre que l'erreur résultante est négligeable si V_A est suffisamment grand devant V_B. Dans la pratique, le rapport $\frac{V_A}{V_B}$ est tel que l'erreur maximum ne dépasse pas 2°.

Une telle erreur est négligeable pour les besoins courants de la navigation. Pour des utilisations nécessitant une grande précision, travaux d'hydrographie ou de topographie, par exemple, l'erreur, étant systématique, peut être corrigée par une graduation spéciale du cadran de l'indicateur.

Contrôles.

Deux dispositifs de contrôle, commandés par deux boutons poussoirs situés sur l'un des indicateurs, permettent de s'assurer, à chaque instant, du bon fonctionnement du récepteur.

Le premier dispositif de contrôle a pour but de vérifier la stabilité de phase des étages d'amplification.

Pour effectuer cette vérification, on applique simultanément, à l'entrée des quatre voies de réception, dont l'antenne est momentanément déconnectée, quatre signaux de référence dont les fréquences sont respectivement égales aux quatre fréquences d'émission et dont les phases relatives sont telles que les aiguilles des indicateurs doivent se trouver au zéro.

Au cas où un décalage est constaté, la remise au zéro peut être effectuée par la manœuvre d'un bouton situé sur chaque indicateur, et permettant de faire tourner simultanément les deux bobines de champ de part et d'autre de leur position moyenne. Pour que l'exactitude rigoureuse des fréquences de référence soit assurée, celles-ci sont obtenues à partir de la fréquence de l'émetteur principal, par

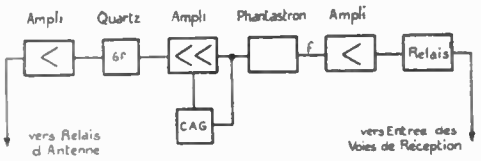


Fig. 12

l'intermédiaire d'un générateur de signaux de référence mis en service par un relais commandé par la manœuvre du bouton poussoir de l'Indicateur.

Le générateur de signaux de référence, dont le schéma de principe est représenté fig 12, comprend un premier étage d'amplification dont l'entrée est connectée à l'antenne. Un filtre à quartz sélectionne la fréquence de l'émetteur principal, soit 6 *f*. Après une nouvelle amplification, le signal de fréquence 6 *f* est appliqué à un « Phantastron » fournissant, à partir de la fréquence 6*f*, des impulsions très brèves à la fréquence de base *f*, rigoureusement synchronisées. Le « Phantastron » est connecté à travers un étage de sortie, à l'entrée des quatre voies de réception.

Les impulsions contenant un grand nombre d'harmoniques de la fréquence *f* fournissent ainsi, à l'entrée du récepteur, les fréquences 6*f*, 8*f*, 9*f* et 5*f* respectivement égales aux quatre fréquences d'émission.

Le deuxième dispositif de contrôle permet de vérifier que les signaux sont reçus avec une amplitude suffisante.

Pour effectuer cette vérification, on provoque, dans la voie de réception correspondant à la fréquence de l'émetteur principal, un déphasage momentané qui doit se traduire par un décalage simultané de la position des aiguilles des trois indicateurs. Le déphasage est provoqué par une variation de la capacité d'accord de l'un des circuits de l'amplificateur, accordé sur la fréquence 6 *f*. Cette variation de capacité est obtenue par l'intermédiaire d'un relais électronique commandé par le bouton poussoir correspondant, situé sur l'indicateur.

Le récepteur tel qu'il vient d'être décrit, ne permet la réception que des signaux d'une seule chaîne d'émission (Chaîne de la Tamise).

En vue de l'utilisation des autres chaînes prévues ou en cours d'édification, le dernier modèle de récepteur a été établi pour permettre la réception de 5 chaînes différentes.

A cet effet, chaque voie de réception comporte 5 filtres à quartz différents. Un commutateur permet de choisir le quartz correspondant à la chaîne désirée. Afin d'améliorer la sélectivité, les quartz correspondant aux autres chaînes sont utilisés comme filtres éliminateurs. La fig 13 représente la courbe de sélectivité résultante.

La taille des quartz a été étudiée avec un soin particulier, principalement en ce qui concerne le coefficient de température. La fig. 14 représente, en

millionièmes, la courbe de variation relative de la fréquence du quartz en fonction de la température, entre — 20° C et + 70° C.

ÉMETTEURS

La station principale d'une chaîne comporte un simple émetteur stabilisé par quartz.

Les émetteurs des stations asservies sont stabilisés à partir de la fréquence du signal rayonné par l'antenne de la station principale.

Ils comportent, d'autre part, un dispositif de stabilisation de la phase.

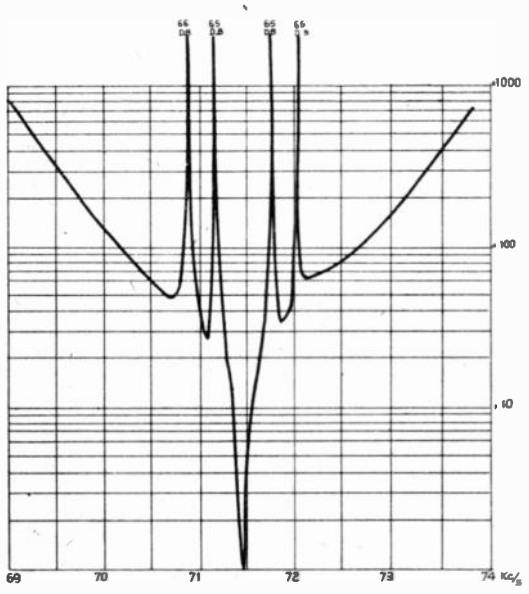


Fig. 13

La fig 15 représente le schéma de principe de la station asservie du réseau rouge, rayonnant sur la fréquence 8*f*. Les autres stations asservies n'en diffèrent que par les fréquences utilisées.

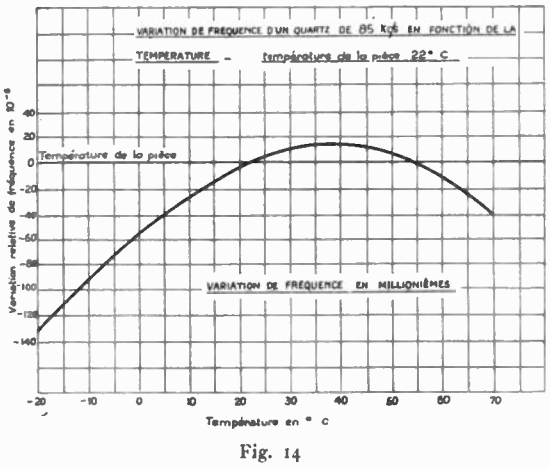

VARIATION DE FREQUENCE D'UN QUARTZ DE 85 Kc/s EN FONCTION DE LA TEMPERATURE
température de la pièce 22° C
Température de la pièce
VARIATION DE FREQUENCE EN MILLIONIÈMES
Variation relative de fréquence en 10⁻⁶
Température en ° C

Fig. 14

Le signal de fréquence 6*f*, reçu par une petite antenne verticale située à environ 200 m de l'émetteur arrive à l'entrée d'un amplificateur après avoir traversé un filtre éliminant la fréquence 8*f* rayonnée par l'émetteur de la station.

L'amplificateur est suivi d'un démultiplicateur de rapport 1/3 qui porte la fréquence de 6*f* à 2*f*.

Le signal à fréquence 2*f* passe ensuite par un doubleur, d'où il sort à la fréquence 4*f* pour traverser un goniomètre qui permet d'ajuster manuellement sa phase.

La sortie du goniomètre est reliée par une ligne, à l'entrée de l'émetteur qui comporte successivement : un amplificateur sélectif accordé sur 4*f*, un doubleur portant la fréquence du signal à 8*f* et un étage de puissance alimentant l'antenne d'émission.

Le dispositif de stabilisation de phase comporte un récepteur de contrôle analogue au récepteur de navigation, mais comportant seulement deux voies de réception.

Dans la première voie, le signal de fréquence 6*f* provenant de l'antenne réceptrice est amplifié et multiplié par 4 pour fournir la fréquence de référence 24*f* appliquée à l'une des entrées du discriminateur.

La deuxième voie reçoit, par l'intermédiaire d'une

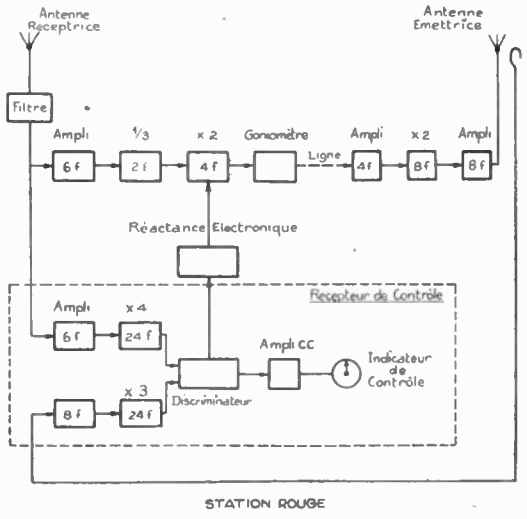


Fig. 15

ligne, un signal de fréquence 8*f* provenant d'une petite boucle de couplage située dans le voisinage immédiat de l'antenne émettrice.

Le signal de fréquence 8*f*, après amplification et multiplication par 3 fournit, à son tour, la fréquence de référence 24 *f* appliquée à la deuxième entrée du discriminateur.

Le discriminateur est suivi d'un amplificateur et d'un indicateur sur lequel on peut contrôler la valeur de la phase.

Le récepteur de contrôle est établi de telle sorte qu'il indique une différence de phase nulle lorsque la phase de l'émetteur est correctement réglée.

Or, nous avons montré que le discriminateur fournit deux tensions respectivement proportionnelles à sin φ et à cos φ. La tension proportionnelle à sin φ est donc nulle lorsque la phase est correcte. Elle est positive ou négative, suivant qu'il existe une erreur de phase dans un sens ou dans l'autre.

Cette tension est appliquée à une réactance électronique qui, agissant sur un circuit convenable de la multiplicatrice précédant le goniomètre, cor-

rige automatiquement toute variation de phase accidentelle.

Le taux de régulation de phase est d'environ 40, c'est-à-dire qu'une erreur de phase initiale de 40°, par exemple, est réduite à 1°. Un appareil de mesure (non représenté sur le schéma) permet de contrôler, à chaque instant, le degré de régulation automatique. La déviation de cet appareil de mesure est maintenue dans les limites déterminées (correspondant à une déviation de phase initiale de 20°) par la commande manuelle du goniomètre. L'erreur maximum résultante est, dans ces conditions, de l'ordre de 1/2 degré, ce qui correspond à une erreur de synchronisme de $5\ 10^{-3}$ microsecondes.

En pratique, ce réglage manuel est seulement nécessaire une fois ou deux par 24 heures.

Le contrôle de la stabilité de chaque réseau est complété par un récepteur de surveillance situé en un point judicieusement déterminé. Toute anomalie constatée en ce point est immédiatement signalée par téléphone à la station asservie correspondante.

IDENTIFICATION DES HYPERBOLES

Principe.

Le principe général de l'identification des hyperboles consiste dans le remplacement momentané du réseau normal correspondant à la fréquence de comparaison, par un réseau comportant des hyperboles plus espacées. Un indicateur spécial donnant la position du récepteur entre deux hyperboles voisines de ce nouveau réseau permet alors de connaître le numéro de l'hyperbole du réseau normal le plus proche.

L'espace entre deux hyperboles successives étant inversement proportionnel à la fréquence de comparaison, le réseau d'identification est obtenu par utilisation d'une fréquence de comparaison plus faible que celle correspondant au réseau normal. La fréquence de comparaison utilisée pour l'Identification est égale à la fréquence de base *f*.

Sur le tableau de la page 3 donnant les valeurs relatives des fréquences, on voit que les fréquences de comparaison normales sont : 24 *f* pour le réseau rouge, 18 *f* pour le vert et 30 *f* pour le violet.

Les hyperboles des réseaux d'identification sont donc respectivement : 24 fois, 18 fois et 30 fois plus espacées que celles des réseaux correspondants.

Les hyperboles des réseaux normaux sont alors groupées par zones de 24 pour le rouge, 18 pour le vert et 30 pour le violet. La fig 16 représente la superposition de deux hyperboles du réseau d'identification à une portion du réseau normal rouge. Pour un récepteur situé en P, par exemple, la position entre les hyperboles d'identification 1 et 2 indique que l'hyperbole n° 5 du réseau normal est la plus voisine du point considéré.

Les conditions du propagation locales et l'effet de nuit peuvent provoquer de légères variations dans la mesure de la différence de phase. Des erreurs de quelques degrés ne provoquent pas d'erreur importante sur un réseau d'hyperboles normal, la distance entre deux hyperboles voisines étant faible.

Dans le cas du réseau d'identification, par contre, cette même variation peut entraîner une erreur sur le numéro de l'hyperbole identifiée.

Cette erreur est évitée en superposant, au premier réseau d'identification de fréquence de comparaison *f*, un deuxième réseau dont la fréquence de comparaison est 6 *f*.

Les hyperboles de ce deuxième réseau dit « Vernier » étant ainsi 6 fois moins espacées que celles du premier, l'erreur résultant d'une légère variation de phase est assez faible pour qu'il n'y ait aucune ambiguité sur le numéro de l'hyperbole identifiée. La fig 17 représente, à titre d'exemple, la superposition des deux réseaux d'identification et du réseau normal rouge.

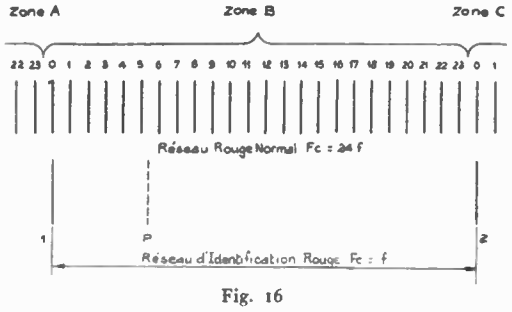


Fig. 16

On voit sur cette figure, que le réseau de fréquence 6 *f* divise chaque zone de 24 hyperboles du réseau normal en 6 groupes de 4 hyperboles. La différence de phase mesurée sur ce réseau situe le récepteur sur les positions P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, ou P_6 par exemple.

La différence de phase mesurée sur le réseau de fréquence f lèvera le doute sur ces 6 positions et indiquera, par la position P entre les hyperboles 1 et 2,

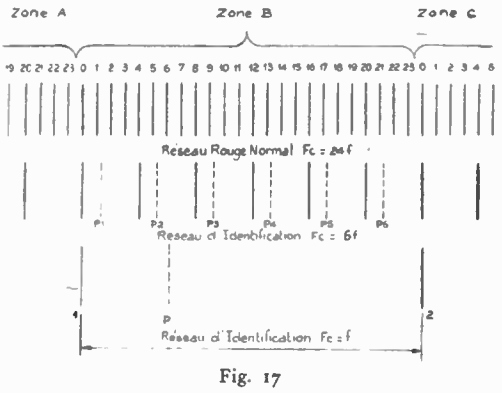


Fig. 17

que la lecture doit être faite sur la position P_2 du vernier correspondant à l'hyperbole n° 5 du réseau normal.

Les fréquences d'identification *f* et 6 *f* sont obtenues par une modification momentanée du dispositif d'émission.

Pendant l'identification d'un réseau les émissions des stations asservies des deux autres réseaux sont suspendues, et les deux stations du réseau en cours d'identification rayonnent chacune deux fréquences qui sont respectivement :

6*f* et 5*f* pour la station principale,

8*f* et 9*f* pour la station asservie.

Les signaux correspondant à ces fréquences sont prélevés, dans le récepteur, à la sortie des voies correspondantes (points A, B, C, D, du schéma de la figure 9). Les signaux de fréquence 6*f* et 5*f* d'une part, 8*f* et 9*f* d'autre part, sont appliqués respectivement à deux mélangeuses (fig 18) délivrant deux signaux de fréquence commune *f* appliquées à un discriminateur de phase. D'autre part, les voies de réception des fréquences 9*f* et 8*f* émises par la station asservie, fournissent, après multiplication par 2 et par 3 respectivement, des signaux de fréquence 18*f* et 24*f* qui, prélevés aux points F et G (fig 9) sont appliqués à une mélangeuse (fig 18) délivrant

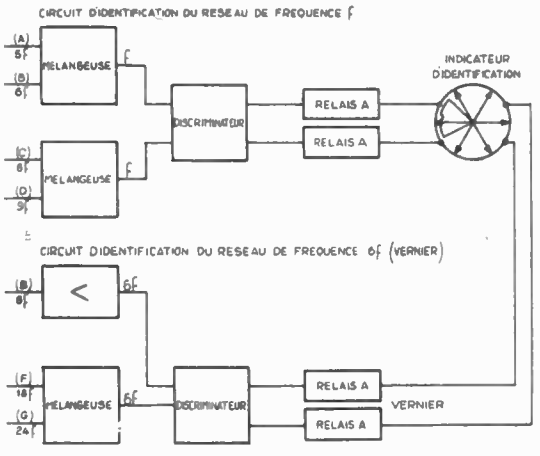


Fig. 18

un signal de fréquenee 6*f*. Ce signal est appliqué à un deuxième discriminateur qui reçoit, d'autre part, un deuxième signal de même fréquence, émis par la station principale et prélevé au point B (fig 9).

Les sorties des deux discriminateurs sont connectées aux indicateurs d'identification par l'intermédiaire de relais actionnés par un signal de commande dont il sera parlé plus loin.

Les deux indicateurs d'identification sont combinés en un seul appareil muni de deux aiguilles indépendantes montées sur axes concentriques.

Pour faciliter l'utilisation, cet appareil est réalisé de la façon suivante (fig 19).

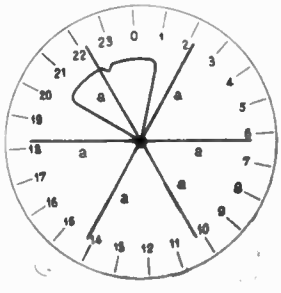


Fig. 19

Le cadran est divisé en autant de graduations qu'une zone de réseau normal comporte d'hyperboles. L'aiguille correspondant au réseau d'identification « Vernier » (fréquence de comparaison 6*f*) comporte six branches en étoile donnant les six numéros possibles d'hyperboles identifiées par ce réseau. L'aiguille correspondant au réseau d'identification principal (fréquence de comparaison *f*) a la forme d'un secteur de 60°. Lors de l'opération d'identification, ce secteur encadre la branche de l'aiguille du Vernier dont la position correspond à la lecture correcte, levant ainsi l'indétermination sur les six lectures possibles. Sur la fig 19, il n'a été représenté qu'une graduation (correspondant au réseau rouge). En réalité, l'indicateur comporte trois graduations concentriques portées chacune sur une couronne translucide colorée de la couleur caractéristique du réseau correspondant. Chacune de ces couronnes s'illumine pendant la période d'identification du réseau qui lui correspond.

L'indicateur d'identification est visible en haut de la photographie (fig 20) sur laquelle on voit, également, les trois indicateurs des réseaux normaux.

Les signaux d'identification sont émis à intervalles réguliers. A chaque émission, sont envoyés successivement, les signaux d'identification des réseaux rouge, vert et violet.

Pendant l'identification d'un réseau, les conditions suivantes doivent être remplies :

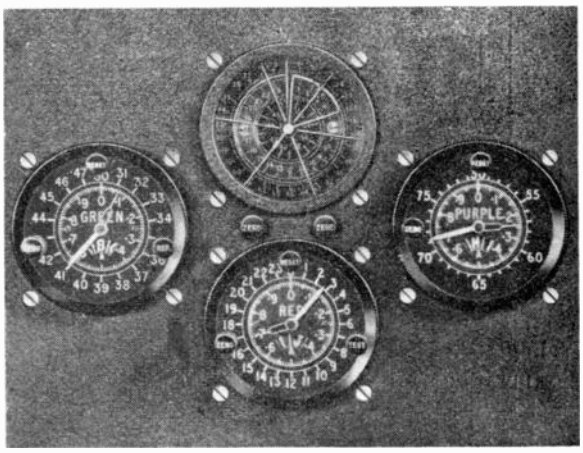


Fig. 20

a) Les indicateurs normaux ne doivent pas être actionnés par les signaux d'identification.

Cette première condition est remplie par la présence d'un circuit d'amortissement rendant les indicateurs insensibles aux signaux d'identification qui ne durent pas plus de 0,5 secondes.

b) L'indicateur d'identification doit être mis en service.

c) Le cadran de l'indicateur correspondant au réseau en cours d'identification doit être illuminé.

Pour remplir ces deux conditions, chaque signal d'identification est précédé d'un signal de commande de venant de l'émetteur principal et obtenu par proalage de sa fréquence de ± 60 c/s pendant 1/25 décseconde.

Le décalage est de + 60 c/s pour l'identification du réseau rouge et de — 60c/s pour le vert.

Pour le réseau violet, les deux décalages de + 60 c/s et de — 60 c/s sont effectués successivement.

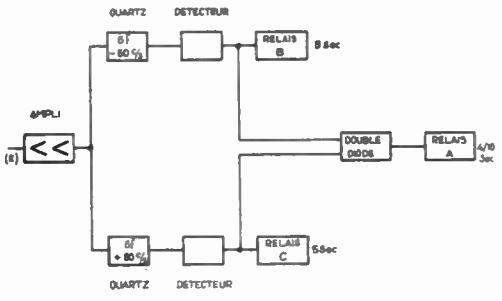


Fig. 21

Le signal de commande est utilisé dans le récepteur par un circuit représenté schématiquement fig 21.

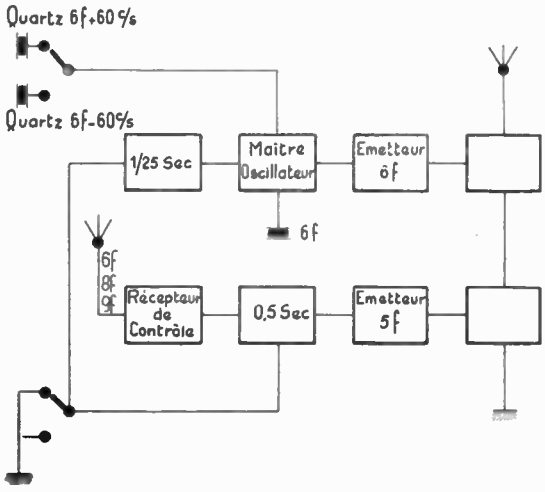


Fig. 22

Les signaux de commande, prélevés au point E du schéma de la fig 9 sont, après amplification, sélectionnés par deux filtres à quartz laissant passer

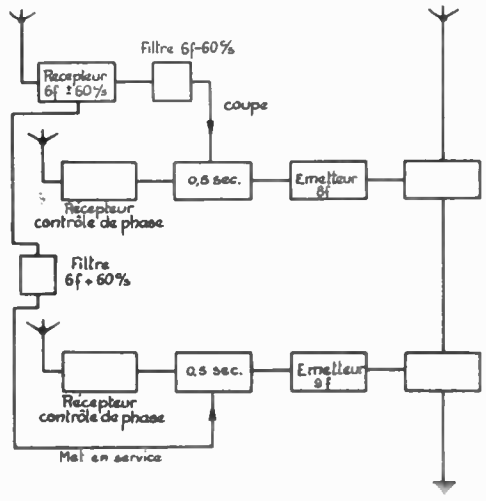


Fig. 23

respectivement les fréquences 6f — 60 c/s et 6f + 60 c/s, puis redressés par deux détecteurs. Les impulsions sortant des détecteurs actionnent, d'une part, deux relais B et C commandant l'allumage du cadran de l'indicateur, et d'autre part, par l'intermédiaire d'une double diode séparatrice, un relais A mettant l'indicateur en service. Le relais A une fois actionné, reste collé pendant 4/10 seconde pour permettre au signal d'identification de 5/10 seconde d'agir sur l'indicateur.

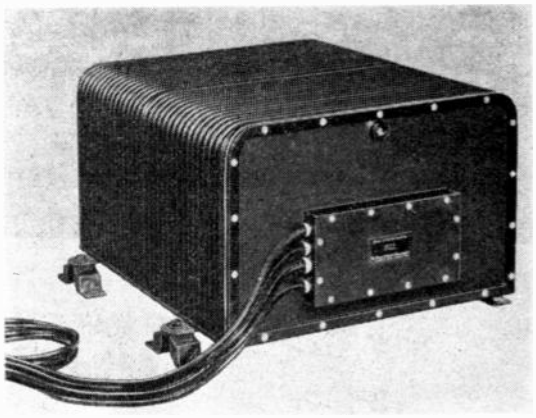


Fig. 24

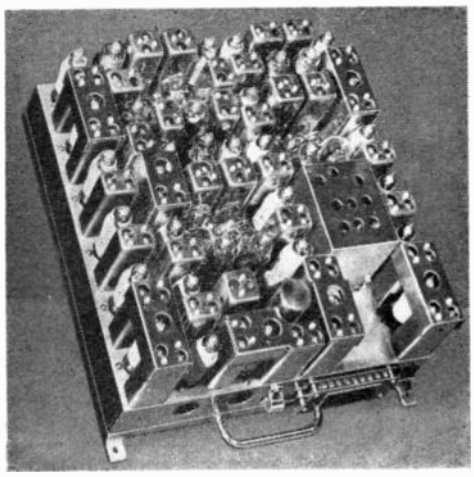


Fig. 25

Après ces 4/10 de seconde, l'indicateur est déconnecté, mais la constante de temps de ses circuits permet aux aiguilles de conserver leur position pendant 5 secondes, durée suffisante pour effectuer la lecture.

Suivant que le signal de commande est 6f — 60 c/s ou 6f + 60 c/s, les relais B ou C sont actionnés et commandent l'allumage des lampes du cadran correspondant respectivement aux réseaux rouge et vert. Lorsque les deux signaux sont envoyés successivement, les deux relais fonctionnent et leur combinaison allume les lampes correspondant au réseau violet.

Une fois actionnés, les relais B et C restent en service pendant 5 secondes.

ÉMETTEURS

Emetteur principal.

A chaque émission d'identification, le poste principal doit émettre d'abord la fréquence de commande

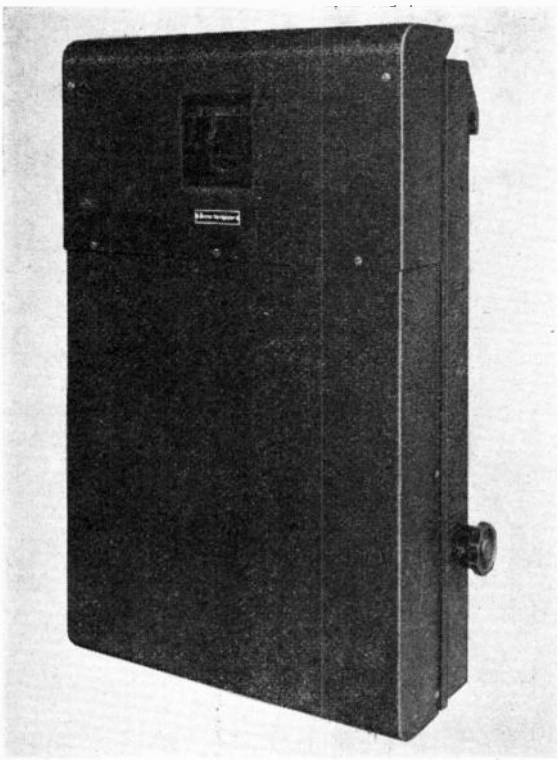


Fig. 26

$6f \pm 60$ c/s pendant 1/25 ème de seconde, puis simultanément les fréquences de $5f$ et $6f$ pendant 0,5 seconde.

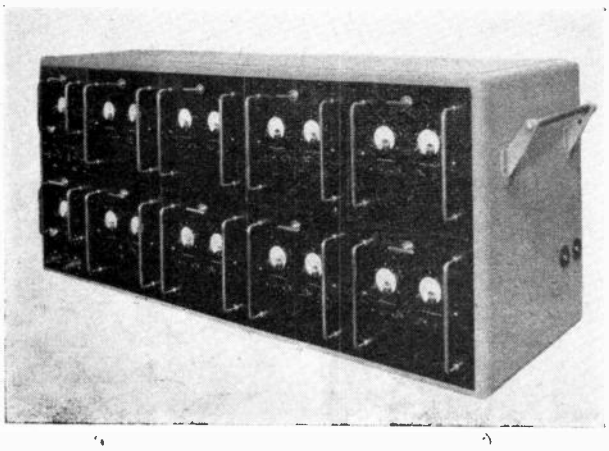


Fig. 27

Le schéma de principe de l'émetteur est représenté (fig 22). Une horloge assure :

1° La commutation des quartz à $6f + 60$ c/s et $6f - 60$ c/s suivant l'identification qui va être envoyée.

2° Les contacts pour la mise en marche des dispositifs de commande réalisant le décalage de fréquence pendant 1/25e de seconde et l'émission du signal $5f$ pendant 0,5 seconde.

Le calage du réseau élargi est obtenu par un contrôleur de phase agissant sur l'émetteur $5f$ et alimenté, d'une part, par l'émission locale $6f$ et d'autre part, par les émissions de fréquences $8f$ et $9f$ émises simultanément par la station asservie.

Emetteur asservi rouge.

Au cours de l'émission d'identification du réseau rouge, la station asservie rouge doit émettre simultanément pendant 0,5 seconde les fréquences $8f$ et $9f$. Il suffit donc de superposer la fréquence $9f$ à son émission normale.

Le signal $6f + 60$ c/s reçu de la station principale, commande la mise en service du dispositif qui assure l'émission à $9f$ (voir schéma de l'émetteur fig 23). La fréquence $9f$ est obtenue par le système normal récepteur-contrôleur de phase alimenté par l'émission normale $6f$ de la station principale.

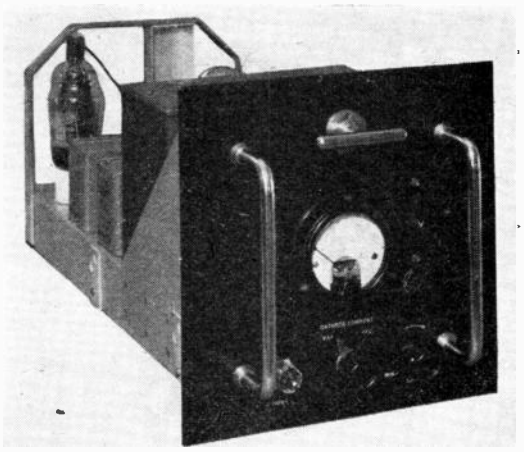


Fig. 28

Au cours de l'identification du réseau vert, le signal $6f - 60$ c/s émis par la station principale, provoque la coupure pendant 0,5 seconde de l'émission sur $8f$.

Enfin, au cours de l'identification du réseau violet, les 2 fréquences $6f - 60$ et $6f + 60$ sont reçues successivement à la station rouge et provoquent, par un jeu de relais, non représentés, l'arrêt de l'émission de fréquence $8f$ pendant 0,5 seconde.

Emetteur asservi vert.

Cette station est identique à la station rouge, mais les opérations provoquées par la réception des fréquences $6f - 60$ c/s et $6f + 60$ c/s sont inversées.

Emetteur asservi violet.

La station violette comporte 3 émetteurs :

— L'émetteur normal fonctionnant sur la fréquence $5f$.

— 2 émetteurs utilisés pour l'identification et fonctionnant sur les fréquences $8f$ et $9f$.

Le schéma de principe est le même :

La réception du signal de commande de fréquence $6f + 60$ c/s qui indique l'identification du réseau rouge commande l'arrêt de l'émetteur $5f$.

Le signal de commande de la fréquence $6f - 60$ c/s correspondant à l'identification du réseau vert, provoque également l'arrêt de l'émetteur $5f$.

Enfin, les 2 signaux de fréquences $6f - 60$ et $6f + 60$ reçus successivement, provoquent l'arrêt de l'émetteur $5f$ et la mise en marche des émetteurs de fréquences $8f$ et $9f$ nécessaires à l'identification du réseau violet.

DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

Afin d'assurer la sécurité du fonctionnement des émetteurs, chaque appareil est doublé d'un appareil de secours pouvant le remplacer instantanément

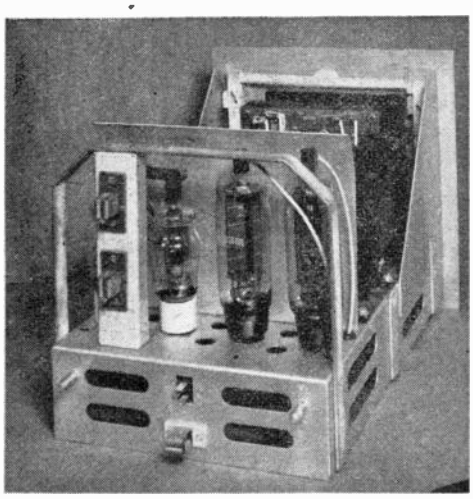


Fig. 29

en cas de panne. L'antenne elle-même est doublée d'une antenne de secours.

Les émetteurs sont alimentés normalement à partir du réseau de distribution. En cas de panne de ce réseau, il est remplacé automatiquement par un groupe de secours à essence tournant en permanence. Si la panne se prolonge, un groupe plus puissant, à moteur Diesel, est mis en service et alimente la station entière y compris l'éclairage et toutes les servitudes électriques.

RÉALISATION

Quelques exemples de réalisation sont représentés sur les photographies ci-après.

Les fig 24 et 25 montrent les vues extérieure et intérieure du récepteur « Marine » ancien modèle.

La fig 26 représente le récepteur « Marine » nouveau modèle muni du dispositif d'identification et d'un commutateur pour la réception de 5 chaînes d'émetteurs. Ce récepteur, équipé de lampes « miniature » possède une alimentation autonome. La fig 27 représente l'amplificateur de puissance d'un émetteur transportable (les émetteurs fixes sont équipés de façon analogue). L'amplificateur comporte deux unités de commande montées en parallèle (à gauche sur la photographie) et 8 unités de sortie de 250 watts chacune, montées également en parallèle. En cas de panne d'une unité, l'émetteur subit seulement une baisse de puissance et l'unité défaillante peut être remplacée instantanément. Chaque unité comporte son alimentation autonome. La fig 28 représente une unité de commande et la fig 29 une unité de sortie.

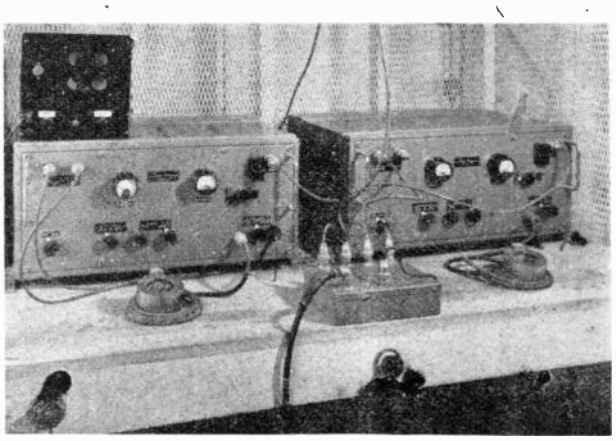


Fig. 30

La fig 30 représente le récepteur de contrôle, en double exemplaire, d'une station asservie expérimentale.

En terminant cet exposé, nous tenons à remercier tous les Organismes dont les travaux ont permis de réaliser les expériences nécessaires, d'établir les cartes indispensables et de rédiger les rapports dont nous avons pu citer, en plein accord avec ces organismes, les extraits les plus importants.

LA RADIONAVIGATION AÉRIENNE EN TEMPS DE GUERRE (1)

PAR

le Lieutenant de Vaisseau GUIGONIS

I. — Introduction.

Les problèmes de radionavigation aérienne sont actuellement à l'ordre du jour. D'ardentes polémiques naissent autour de cette question. Cependant, si chaque système proposé a ses détracteurs et ses protagonistes, l'accord semble se faire sur un point, au moins tacitement. Tout le monde admet que les besoins à satisfaire sont ceux de la navigation aérienne commerciale en temps de paix.

Croyez bien que je ne prends pas ce soir la parole poussé par le désir malsain de saper les bases d'une entente si rare.

J'entends bien que les besoins de la navigation aérienne commerciale sont actuellement ceux dont la satisfaction s'impose avec le plus d'urgence. En temps de paix les besoins des aéronautiques militaires — si l'on cantonne ces besoins aux nécessités de l'exploitation courante en négligeant celles de l'entraînement militaire en vue d'opérations de guerre — ne sont après tout pas tellement différents et peuvent donc s'accommoder des mêmes solutions.

Je sais bien aussi qu'au lendemain d'une guerre on est mal venu d'envisager un autre conflit. Je me suis cependant rendu aux raisons de Monsieur Rigal, Secrétaire Général de la Société des Radioélectriciens, lorsqu'il m'a fait valoir qu'un tableau des problèmes posés par la radio navigation aérienne ne saurait-être complet si, à côté des besoins du temps de paix, n'étaient évoqués ceux qui naîtraient en temps de guerre.

Je voudrais donc, esquisser devant vous les grandes lignes du problème de la Radionavigation aérienne en temps de guerre, me bornant à mettre en évidence certains facteurs, plus particulièrement militaires, de ce problème et à en évaluer l'incidence sur les solutions techniques possibles.

Point n'est besoin de préciser qu'il ne s'agit pas ici d'exposer une doctrine officielle ni de dévoiler des secrets militaires, mais seulement de proposer quelques opinions personnelles appuyées d'exemples tombés depuis longtemps dans le domaine public.

Mon exposé sera riche en « peut-être », en conditionnels et en points d'interrogation. Il reflètera ainsi assez bien la situation actuelle.

Il n'aura pas été inutile, si, mettant en lumière quelques aspects généralement négligés d'une question très débattue, il aide si peu que ce soit, à donner à celle-ci une solution plus rationnelle au moment où cette solution va se traduire par un rééquipement quasi total de notre pays en aides radio à la navigation aérienne.

II. — Nécessité de prévoir la mobilisation de l'équipement de radionavigation de temps de paix.

Constatons d'abord qu'une solution originale et complète du problème de la radionavigation en temps de guerre au moyen d'un matériel radicalement nouveau, ne saurait chez nous être mise en exploitation que de longs mois après le début des hostilités.

Ceci tient à plusieurs facteurs. Les facteurs budgétaires d'abord qui ne permettraient pas de doubler en temps de paix l'effort déjà énorme demandé par la réalisation de l'équipement de radionavigation commerciale.

Des facteurs de secrets ensuite, qui ne permettraient pas de lancer en temps de paix la production industrielle à grande échelle nécessaire à l'équipement de l'infrastructure et des avions sans compromettre radicalement le secret des matériels confectionnés. On peut donc, dans ce domaine, souhaiter tout au plus qu'au début du conflit les études seront achevées, les prototypes essayés, la mise en production prévue et préparée. Même dans ces conditions très optimistes on m'accordera que de longs mois, pour ne pas dire des années, seront nécessaires avant de voir les infrastructures en place et les avions équipés.

Restent enfin les facteurs stratégiques qui ne sont pas les moins importants pour déterminer les implantations et les caractéristiques des systèmes à réaliser. Ces facteurs suffiraient à nous interdire la mise en place hâtive d'un système de radionavigation militaire trop évidemment dirigé contre tel ou tel de nos adversaires possibles.

Par ailleurs, faisant preuve d'un optimisme modéré, nous admettrons que la guerre n'est pas pour demain. Nous pouvons donc espérer que, à la veille d'un conflit, notre pays sera équipé d'un système complet de radionavigation aérienne pacifique.

Nous rappelant que nous ne pouvons pas compter voir à l'heure H surgir du fond de nos arsenaux un matériel complet destiné à prendre sa place, voici la question que, si désagréable qu'elle soit, nous devons nous poser dès maintenant : de quelle utilité sera notre équipement de radionavigation aérienne pacifique lorsque les hostilités seront commencées ?

La réponse est facile et immédiate. Au moins dans les zones d'opération (et quelle partie de notre territoire est elle certaine de rester en dehors de ces zones au cours d'un conflit futur ?) cet équipement sera, dès l'abord, frappé d'une paralysie quasi complète.

La même raison qui, dès les premières heures des guerres passées éteignait tout au long de nos côtes la ceinture lumineuse des phares, nous amènera en effet à suspendre les fonctionnement de la quasi totalité des aides radio à la navigation aérienne de crainte de voir l'ennemi les utiliser pour mener à bien ses attaques contre nous.

Cette situation acquise, nous nous trouverons donc confrontés avec le problème de reconstituer un système de radionavigation répondant aux conditions du temps de guerre à partir d'un équipement pacifique momentanément paralysé et impossible à renouveler rapidement de fond en comble.

---

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 24 avril 1948.

Pour étudier les modalités de cette adaptation il nous faut mettre en évidence. les faiblesses militaires de l'équipement du temps de paix. Les plus graves de ces faiblesses proviennent de l'apparition parmi les éléments du problème à résoudre de ce facteur indispensable à toute guerre: l'existence d'un ennemi.

L'action de cet ennemi vis-à-vis de notre équipement de radionavigation pourra prendre trois formes.

Il cherchera à l'utiliser pour les besoins de la navigation de ses propres aéronefs,

Il cherchera à le brouiller pour nous interdire son emploi,

Il cherchera à le détruire.

Pour répondre à cette triple menace l'adaptation de l'équipement pacifique de radionavigation devra donc porter sur trois points :

La discrétion vis-à-vis de l'ennemi.

La résistance au brouillage.

La vulnérabilité de l'infrastructure.

III. — Comment réaliser cette mobilisation.

La discrétion vis-à-vis de l'ennemi est, de ces trois facteurs, celui pour lequel l'équipement pacifique semble le moins préparé à remplir les conditions du temps de guerre et c'est en même temps celui sur lequel il n'est pas possible de transiger.

Au cours du dernier conflit cette discrétion fut souvent contenue par la nouveauté des moyens techniques employés et leur secret. Si les avions anglais opérant dans le golfe de Gascogne utilisaient assez fréquemment les émissions des Sonne ou Consols allemands, il semble bien que ce cas soit resté isolé et que les systèmes employés par les alliés aient réalisé cet idéal de la discrétion d'être clairs pour les amis et totalement hermétiques pour les ennemis (1).

On concevra sans peine que les systèmes de radionavigation de temps de paix, de conception essentiellement internationale ne sauraient prétendre à une intangibilité du même genre.

Aussi devra-t-on, dès les premières heures du conflit, imposer le silence à toutes les aides radios passives ou à réponse automatique, ne laissant subsister que les aides actives dans lesquelles l'intervention d'un opérateur au sol permet de s'assurer que l'avion interrogateur est ami.

Cette identification pourra être réalisée par un moyen quelconque, le plus simple étant l'emploi d'une liaison phonie ou graphie avion-sol avec intervention d'indicatifs conventionnels.

A. — Aides actives.

Au premier rang de ces *aides actives* figurent les goniomètres terrestres, surtout les *goniomètres à très hautes fréquences* travaillant par groupes de trois et permettant une détermination rapide de la position de l'avion interrogateur. Une telle organisation a fait ses preuves au cours de la dernière guerre et conserve aujourd'hui tout son intérêt.

Classons aussi parmi ces aides actives les *radars de surveillance* qu'une organisation bien comprise du contrôle de l'espace aérien devra dès le temps de paix multiplier jusqu'à assurer une couverture complète du territoire.

Ces radars pourront identifier l'écho de l'avion demandant sa position soit par un code particulier de l'appareil d'identification genre I. F. F. dont le dit avion sera muni, soit, plus simplement et plus sûrement, — car aux premiers jours d'un conflit le problème de l'identification automatique connaîtra certainement une assez longue période de flottement — grâce à un goniomètre à indication visuelle affichant sur l'écran radar l'azimut de l'avion en liaison phonie avec la station.

B. — Aides passives.

Quant aux diverses aides radio ne faisant pas intervenir d'opérateur au sol leur remise en service sera conditionnée par la possibilité de rendre inutilisables par l'ennemi les indications qu'elles sont susceptibles de donner au navigateur aérien.

Les *radiophares* à moyennes et ondes courtes, les radiophares à axes paraissent radicalement inadaptables.

Les camouflages dont ils pourraient être l'objet (indicatifs secrets et variables, changement de longueurs d'ondes, déplacement des émetteurs) outre qu'ils seraient souvent d'une mise en œuvre difficile n'apporteraient au mieux qu'une sécurité passagère. Ces radiophares resteront donc éteints.

Les radiophares O. T. C. omnidirectionnels pourront peut-être être maintenus, au moins dans certains cas, en fonctionnement « sur demande » pour de courtes périodes, si l'on parvient à rendre les indications d'azimut qu'ils donnent inintelligibles à l'ennemi. Ceci paraît réalisable simplement si ces installations permettent de décaler par rapport au nord, l'origine des angles signalés d'une quantité arbitraire et variable selon un horaire convenu. Les avions ennemis en seraient donc réduits à une goniométrie assez imprécise de ces radiophares d'une portée par ailleurs médiocre.

Pour les *Consols*, radiophares à grande portée, où un azimut déterminé est caractérisé par une certaine combinaison de points et de traits successifs, il ne doit pas être impossible de changer cette combinaison assez fréquemment pour garder au système une discrétion suffisante.

Les *systèmes hyperboliques à impulsions* genre Gee ou Loran paraissent susceptibles d'un maquillage facile en introduisant des délais arbitraires et variables selon un horaire convenu, entre les impulsions des divers émetteurs de la chaîne, délais dont le navigateur tiendrait compte pour corriger les lectures de son récepteur ou qui, mieux encore, pourraient être compensés dans le récepteur lui-même en plaçant un bouton « Code » devant le repère convenable.

Le maquillage du *Decca* paraît moins évident. Une idée simple serait de supprimer le système d'identification des hyperboles ce qui rend théoriquement impossible à un avion venant de l'extérieur de la chaîne d'utiliser les signaux de celle-ci. Mais, outre que cette opération gênerait nos propres appareils dans leur emploi du Decca, rien n'inter-

(1) Le paragraphe ci-dessous extrait d'un rapport américain montre que, dès la fin de la guerre, le GEE avait perdu son caractère de discrétion. « Les bombardiers allemands qui donnèrent à Londres son "petit blitz" de Février et Mars 1944, utilisèrent le GEE pour naviguer au cours de leurs missions, employant pour cela des appareils récupérés sur les centaines de bombardiers alliés abattus sur l'Allemagne.

dirait à l'ennemi d'utiliser néanmoins celui-ci à partir d'un point où un autre procédé de navigation lui aurait permis de fixer sa position avec précision.

De même un changement d'implantation des stations de la chaîne ne peut pas être pris en considération. Une telle opération entraîne de trop lourdes servitudes, ne serait ce que par le tracé et la diffusion de nouvelles cartes, pour pouvoir être répétée assez fréquemment et avoir une efficacité autre que passagère.

Ce sont donc les signaux eux-mêmes qu'il faudrait maquiller en faisant intervenir une modulation de phase quelconque qui brouille la succession des déphasages dûs au déplacement de l'avion dans le réseau des hyperboles. Il faudrait évidemment que les récepteurs des avions amis soient munis d'un dispositif auxiliaire leur permettant de se débarrasser de cette modulation parasite et de retrouver le réseau des hyperboles guides.

Il faudrait enfin que la modulation parasite puisse être variée périodiquement, ceci pour ajouter à la sécurité technique du système, qui ne sera jamais que passagère, celle, plus durable, d'un code convenu.

Je n'ai pas la prétention d'esquisser ici la solution de ce problème ni même de le poser avec précision. Je voudrais seulement, puisque le Decca semble être destiné à constituer la base de notre système de navigation, signaler l'existence dudit problème et, à la lumière de ce qui précède, en souligner l'intérêt.

Supposant résolue de la façon que nous venons d'indiquer la question de la discrétion vis-à-vis de l'ennemi de notre équipement de radionavigation, il faut s'attendre à voir notre adversaire chercher à son tour à nous interdire l'emploi.

Le brouillage. — Il cherchera évidemment à *brouiller* systématiquement nos émissions. Tout système de communication radioélectrique est, à un degré plus ou moins grand, justiciable d'une attaque de ce genre.

Il semble bien que les systèmes à émission continue et à ondes longues soient, sur ce point, plus vulnérables que les systèmes à impulsions et à fréquence plus élevée. Ce point reste ouvert à discussion. Il serait bon qu'il soit pris en considération lors du choix du type d'équipement de radionavigation de temps de paix car il sera bien difficile, pour ne pas dire impossible de pallier le moment venu une faiblesse trop accusée dans ce domaine.

Quoi qu'il en soit, il est, en matière de brouillage, un facteur qui prime tous les autres. C'est celui du *rapport des distances* entre le récepteur et l'émetteur d'une part, entre le récepteur et le brouilleur d'autre part.

La prise en considération de cet élément interdit d'espérer maintenir un réseau de radionavigation *permanent* au-dessus du territoire ennemi ou au voisinage de ses lignes.

Si au cours de la dernière guerre ce tour de force a été rendu parfois possible, c'est grâce à une surprise technique qui n'existera pas dans les circonstances que nous envisageons. Il serait d'ailleurs déraisonnable d'espérer réaliser à nouveau une surprise du même genre au moyen d'un système comportant l'émission d'ondes radioélectriques.

Celles-ci se sont révélées être des armes trop efficaces pour qu'un belligérant néglige maintenant d'assurer un contrôle étroit de son espace hertzien et de brouiller, avec une efficacité d'autant plus grande que l'on sera plus près de son territoire, toute émission suspecte.

Le facteur distance jouant en sens inverse on peut au contraire espérer maintenir un système *permanent* de radionavigation en fonction sur les zones situées à une certaine distance des bouilleurs ennemis. Cette distance sera fonction d'une part de la vulnérabilité de nos installations au brouillage, vulnérabilité à laquelle nous avons fait allusion tout à l'heure, d'autre part des facteurs d'une certaine économie militaire qui interdit à un belligérant de gaspiller ses forces dans des entreprises non payantes.

Et le *brouillage continu* dans le temps et dans l'espace d'une émission donnée est une entreprise qui, au-delà d'une certaine distance — surtout lorsque cette distance joue en faveur des émetteurs à brouiller — conduit rapidement à un luxe exorbitant d'installations.

Si donc il faut s'attendre à voir notre adversaire mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour neutraliser nos systèmes de radio navigation au-dessus de son territoire nous pouvons espérer que, sauf le cas où le développement des opérations rendrait cette tentative localement et momentanément intéressante, il ne cherchera pas à brouiller systématiquement ces systèmes à grande distance.

Vulnérabilité de l'infrastructure.

Cette espérance est d'autant mieux fondée que l'agressivité de l'ennemi peut dans ce domaine se manifester de façon plus radicale et moins coûteuse par l'*attaque de l'infrastructure* de notre réseau dans la radio navigation.

Là encore l'économie des forces aura son mot à dire et ces attaques n'interviendront — en dehors de celles dictées par les nécessités immédiates des opérations — que si le jeu en vaut la chandelle, c'est-à-dire si l'objectif est à la fois vulnérable et d'un intérêt stratégique suffisant.

Si l'on veut bien considérer qu'une chaîne Decca équipée pour le temps de paix comporte des pylones de 100 m de haut, que la destruction d'une seule station suffit sinon à la paralyser complètement du moins à réduire radicalement son utilité et enfin que sa zone de couverture s'étend à toute la France Continentale on m'accordera qu'une telle installation répond assez bien aux deux conditions nécessaires pour attirer une attaque.

Qu'on ne voit pas là une critique spécialement dirigée contre le système DECCA mais un exemple destiné à montrer que les principes du temps de paix, visant à réaliser l'économie maximum de matériel et de personnel par la concentration des installations aboutit fatalement à réaliser une infrastructure essentiellement vulnérable.

La parade est heureusement facile et consistera à prévoir le matériel nécessaire pour décentraliser cette infrastructure à l'aide d'émetteurs de moindre puissance dont le nombre et la couverture réduite seront les premières garanties contre les attaques ennemies.

Ces matériels devront évidemment être mobiles de façon à se prêter aux exigences tactiques du moment, le fait que les chaînes à couverture réduite ainsi créées travailleront sur des fréquences diverses rendra encore moins rentable une entreprise de brouillage ennemi généralisé.

IV — Compléments à apporter à l'équipement de temps de paix « mobilisé ».

Au total nous pouvons donc espérer au début d'un conflit maintenir, ou remettre rapidement en service une bonne fraction de notre équipement de radionavigation, ceci cependant au prix de certaines servitudes.

Servitudes d'emploi d'abord rendant l'utilisation des aides radios moins immédiate lorsque entre la lecture des appareils et l'exploitation de cette lecture devra intervenir une correction fonction d'un code variable.

Servitudes de couverture ensuite, restreignant l'emploi de ces équipements aux zones où l'adversaire ne maintient pas un brouillage continu.

Ces servitudes créeront de graves lacunes dans notre système, lacunes qui laisseront insatisfaits quelques uns des besoins les plus vitaux de l'aviation de combat.

Les *goniomètres* et les *radars terrestres* pourront pallier certaines de ces déficiences. Le contrôle de la chasse d'interceptation, celui des missions d'attaque à courte distance continueront à relever de ces méthodes où le pilote, totalement déchargé de tout souci de navigation peut se donner tout entier à sa mission de combat.

Les matériels nécessaires existent dès maintenant et ont été largement employés surtout à la fin de la dernière guerre. Ces matériels sont encore susceptibles de grands perfectionnements, car leur mise en œuvre pose un certain nombre de problèmes qui sont loin d'avoir été résolus de façon définitive. Le détail de ces problèmes sortirait du cadre de mon exposé.

Je me bornerai donc ici à citer pour mémoire celui de l'élimination des échos fixes, celui de la résistance aux brouillages ennemis, et celui, important entre tous, de l'identification des avions amis sur l'écran radar. Ceci sans tenir compte de la portée que l'on veut toujours plus grande de la couverture en site que l'on veut plus complète et de la précision angulaire que l'on veut toujours meilleure.

Quel que soit le degré de perfection atteint par de tels matériels, il n'en reste pas moins que leur capacité de trafic réduite par la saturation rapidement atteinte du réseau de communication phonie sol-avion, limite pratiquement leur emploi au guidage des formations organisées.

Mais sitôt qu'il faut faire face aux demandes de position simultanées d'un grand nombre d'appareils navigant isolément il faut trouver autre chose.

La technique des *balises répondeuses* apporte heureusement une bonne solution à un tel problème et, du même coup, à beaucoup d'autres.

Et c'est ici le moment d'entamer les louanges de de la balise radar qui approche de bien près l'idéal militaire du matériel de radionavigation.

Discrète, elle n'émet que lorsqu'on l'interroge et pour peu que ses usagers soient eux-mêmes discrets elle sera très difficile à goniométrer. Aussi ne sommes nous pas surpris de la voir choisie comme phare de rappel par le porte-avions partagé entre le désir de ramener sûrement ses appareils à bord et la crainte de déceler sa position aux formations ennemies.

Cette sécurité vis-à-vis de l'ennemi est complétée par un double code qui ne déclenche la réponse que pour une certaine forme d'interrogation et envoie cette réponse sous forme d'un signal convenu.

Nécessitant un minimum de liaisons air-sol la balise peut travailler au profit d'un nombre considérable d'appareils, nombre pouvant atteindre et dépasser cinquante, tous ces avions l'interrogeant simultanément sur une même fréquence.

Elle peut-être exploitée aussi bien par un monoplace muni d'un simple interrogateur que par un appareil plus lourd muni d'une installation radar complète.

Dans le premier cas les informations qu'elle fournit peuvent-être utilisées « en homing » le pilote faisant route sur la balise grâce à un cadran droite-gauche où s'affiche également la distance à parcourir pour l'atteindre.

Dans le deuxième cas le radar fournissant l'azimut et la distance de la balise ces informations peuvent être exploitées telles quelles par affichage sur un écran panoramique soit même fournies automatiquement à un calculateur qui en déduit les coordonnées géographiques de la position de l'avion et les affiches sur un cadran.

Selon le service auquel on la destine la balise traitée en matériel terrestre semi fixe, monté sur remorque, pour le matériel puissant à fonctionnement continu, en matériel aéroporté, en matériel portatif fonctionnant sur pile ou en matériel parachutable.

Sous leur ferme la plus simple les balises peuvent être constitutées par un émetteur continu, le système interrogation réponse étant abandonné pour réaliser la compacité et le bon marché maximum du matériel émetteur considéré alors comme consommable. C'est le cas des balises type Walter destinées à permettre le repérage des embarcations pneumatiques des avions tombés en mer. C'est le cas également des balises type « Wire Basket » parachutés en mer pour marquer le point où un sous-marin a été repéré.

Sous leur forme normale de répondeur le domaine de leurs applications n'a pour limite que l'imagination des utilisateurs. Elles permettent par exemple à un avion au contact d'une force navale ennemie de se faire rallier par d'autres avions avec le maximum de discrétion. Elles ont été largement utilisées sous le nom d'EURÉKA pour permettre les parachutages de précision, en force ou clandestins, en territoire ennemi ou encore pour repérer des objectifs de bombardement.

Permettant des mesures de distance étonnament exactes, elles peuvent, employées par couple constituer des systèmes de navigation d'une précision inégalée. Le Shoran, par exemple, conçu pour permettre le bombardement de précision et qui détient

d'ailleurs le record du genre prétend à une erreur instrumentale de ± 7m, 50 à des portées atteignant 400 km.

De tels systèmes semblent bien constituer au moins provisoirement la meilleure solution au problème de la radionavigation au-dessus du territoire ennemi. Ils seront en effet difficiles à brouiller si les utilisateurs les emploient avec une certaine discrétion et s'ils peuvent disposer d'une gamme de matériels permettant de changer les caractéristiques des signaux d'une mission à l'autre.

Leur portée limitée grosso-modo à l'horizon optique peut cependant être assez considérable pour des avions volant à haute altitude. Elle atteint 450 km. pour un avion volant à 12.000 m.

Si l'on observe que dans ces conditions le sol ne perçoit pas les réponses des balises localisatrices, on conçoit que ce facteur, couplé avec l'emploi d'antennes directrices en site et en gisement à bord de l'avion, peut contribuer de façon appréciable à la résistance du système au brouillage.

La portée de l'équipement peut d'ailleurs être augmentée encore par l'emploi d'avions relais volant en altitude à portée des balises terrestres localisatrices, répétant à l'aller et au retour les signaux échangés. De ce fait leur rayon de couverture s'ajoute à celui de l'avion interrogateur. Des portées supérieures à 1.000 km. ont été ainsi obtenues.

Citons enfin pour mémoire une variante de cette méthode dans laquelle les balises répondeuses localisatrices sont portées par deux avions dont la position est à chaque instant déterminée avec précision par un système auxiliaire. Bien qu'un tel système ait été effectivement mis en œuvre pour certaines opérations de la dernière guerre, il entraîne une telle complication du matériel et de la procédure à employer son emploi semble devoir être limité à des cas très particuliers.

L'avion s'éloignant plus encore au-dessus du territoire ennemi sera finalement livré à ses propres moyens, moyens dont la plus efficace est évidemment le *radar de bord*.

Je ne me lancerai pas dans le détail des possibilités, des faiblesses et des perfectionnements possibles du radar de navigation aéroporté, ce problème n'étant pas spécifiquement un problème de temps de guerre.

C'est donc en le citant simplement pour mémoire que j'achèverai l'esquisse que je m'étais proposé de tracer du tableau des aides radio dont le navigateur peut espérer disposer au début d'un conflit.

V — L'Avenir.

Ayant ainsi fait face au plus pressé en mobilisant la technique actuellement publiée le militaire se tournera vers le technicien et attendra de ce dernier qu'il lui fournisse sans retard des moyens de radionavigation encore mieux adaptés à ses besoins.

Comme toujours ses exigences seront exorbitantes mais ne feraient elles que de définir une perfection à jamais irréalisable, elles valent la peine d'être prises en considération ne serait-ce que pour orienter les efforts des organismes de recherche.

Je ne reviendrai pas sur celles de ces exigences dont j'ai déjà été amené à souligner l'importance à propos de l'adaptation des équipements de temps de paix, discrétion vis-à-vis de l'ennemi, résistance au brouillage invulnérabilité de l'infrastructure.

Parmi les autres, j'énumérerai simplement, car elles se passent de commentaires, celles qui touchent *la couverture* qui doit s'étendre en surface sur la totalité des zones d'opérations et non pas seulement le long d'itinéraires déterminés — *la portée* qui doit rationnellement être au moins égale au rayon d'action des avions, la *capacité de trafic* qui doit se chiffrer en nombre d'appareils guidés simultanément et remplacer la notion de débit des systèmes de contrôle de trafic commercial (tant d'appareils par heure) par celle de non saturation (tant d'appareils à la fois).

J'insisterai particulièrement sur *l'automaticité* qui doit réduire au minimum l'intervention de l'opérateur de bord jusqu'à supprimer cet opérateur lui-même pour finalement permettre le guidage d'avions sans pilote.

La notion *de précision* mérite également qu'on s'y arrête. Si un pilote de transport navigant au milieu de l'Atlantique ne voit pas d'inconvénient à voir sa position fixée à quelques milles près seulement à condition que cette précision s'améliore lorsqu'il approche du terme de son voyage, il n'en va pas de même d'un pilote en opérations de guerre qui sera d'autant plus anxieux de trouver l'objectif qu'il recherche, qu'il se trouvera plus loin de ses bases. Ce pilote n'admettra donc pas volontiers que la précision du système de radionavigation soit fonction décroissante de la distance.

Lorsque sera atteint le stade des projectiles téléguidés la définition ultime de la précision demandée au système de radionavigation sera finalement donnée par les caractéristiques des armes employées. Elle devra en effet permettre d'amener le projectile assez près de la cible pour que la tête autochercheuse puisse détecter celle-ci et contrôler l'approche finale.

Pour conclure, disons un mot des caractéristiques d'encombrement et de poids que devront respecter les matériels de bord. Je ne saurais sur ce point être plus éloquent que ce militaire américain prenant la parole devant un auditoire d'industriels pour leur exposer les desirata de l'Air Force « Nous voulons, disait-il, des matériels de bord qui ne pèsent rien, qui aient un encombrement nul et qui fassent tout ».

Permettez-moi de faire mien un si beau programme en le complétant cependant sur un point dont l'importance s'affirme de plus en plus avec la vitesse croissante des avions. J'ajouterai donc à la définition américaine une petite phrase qui fera sourire d'aise les constructeurs d'avions et grincer des dents les techniciens de la radio.

« Non contents d'un matériel de bord sans poids, sans volume et sans opérateur, nous voulons encore qu'il soit sans antenne, ou tout au moins sans antenne apparente ».

Et je terminerai sur le souhait de voir la technique française résoudre rapidement un problème si facile.

LA MODERNISATION DES PIÈCES DÉTACHÉES RADIO [1]

(1re PARTIE)

PAR

M. E. CAYE

Ingénieur-Chef de la division " Pièces détachées " du C. N. E. T.

INTRODUCTION

Le plan Monnet, plan de modernisation et d'équipement de l'Industrie française, tourné dès la libération vers les activités de base : agriculture, houillères, énergie électrique, etc ... ne s'orienta sur l'Electronique qu'en juillet 1947. Un arrêté en consacra l'application en instituant une commission de Modernisation des Télécommunications ; mais l'industrie radioélectrique, pour sa part, s'était déjà rendu compte que pour entreprendre une production basée sur les progrès techniques réalisés pendant la guerre, le premier problème à résoudre était d'améliorer la fabrication des pièces détachées.

Nous allons étudier succinctement dans une première partie la situation de l'industrie des pièces détachées ainsi que les caractéristiques et conditions de la modernisation et les tendances actuelles dans cette branche d'activité. Nous passerons ensuite rapidement en revue dans une deuxième partie les principales pièces détachées. Suivant l'usage, nous ne comprendrons pas dans celles-ci les tubes électroniques, dont le rôle est tellement important et les fonctions si multiples qu'il est nécessaire de les étudier à part. Aussi bien l'évolution des fabrications et le développement des études ou des perfectionnements sont ils également si différents dans l'industrie des tubes et l'industrie des autres pièces détachées, qu'il n'est pas inutile d'en rechercher en tout premier lieu les causes.

Il n'y a pas de radio sans les tubes depuis l'apparition des « lampes de la Télégraphie Militaire » pendant la guerre 1914-18 ; et l'on conçoit que les études et les recherches se soient concentrées sur ces pièces principales, à la fois le cœur et le cerveau des Télécommunications. Cependant les pièces détachées de la T. S. F. comme les transformateurs, les selfs, les condensateurs, les résistances, les commutateurs, même les bobinages HF, les relais et les détecteurs, toutes ces pièces existaient et n'ont pas évolué aussi rapidement que les tubes, depuis les découvertes de Fleming et de Lee de Forest.

C'est entre les deux guerres, par suite du développement rapide du marché de la radiodiffusion que des procédés vraiment industriels furent appliqués aux fabrications radioélectriques et que les industries spécialisées des lampes et des pièces détachées virent le jour.

Le parallèle que l'on est tenté d'établir entre l'une et l'autre industrie, semble montrer que la différence provient surtout de la façon dont ces spécialistes ont envisagé l'organisation de leurs moyens de production et de leurs moyens d'étude.

D'un côté, les entreprises de lampes, peu nombreuses et bénéficiant d'ailleurs d'un départ plus favorable, s'adaptèrent très rapidement à une technique évolutive et aux procédés de travail à la chaîne. La création de bureaux d'études et de laboratoires importants permit le progrès technique et l'extension du chiffre d'affaires. Avec des prix de revient bien établis, une marge bénéficiaire suffisante assurait les moyens financiers nécessaires aux investissements et aux recherches.

De l'autre côté, les entreprises de pièces détachées, beaucoup plus nombreuses et dispersées, pour la plupart sans défense, furent rapidement engagées dans une concurrence sans merci. Dans presque tous les cas, l'amélioration de la qualité fut sacrifiée, pour réduire les prix. Toutes les petites entreprises s'essayaient à imiter, avec plus ou moins de bonheur, les modèles des quelques rares grandes firmes mondiales. Les trésoreries exsangues ne permettaient pas de monter ou d'alimenter des laboratoires de recherches ni même souvent de renouveler les outillages usagés.

ANALYSES

1. — *La pagination adoptée permet de détacher facilement les analyses du reste de la revue.*

2. — *Le nombre qui précède chaque analyse est celui de la classification décimale adoptée par le Laboratoire National de Radioélectricité (voir O. E., 228, mars 1946, pages 1A-7A).*

3. — *Les références bibliographiques comportent, après le titre de l'article et le nom de l'auteur, le titre abrégé de la revue, le tome (en caractères gras), éventuellement le numéro du fascicule, le mois et l'année, et enfin l'indication des pages.*

4. — *Pour les abréviations utilisées pour les titres des principales revues citées, se reporter à : O. E. 228, mars 1946, page 1A.*

T. 1. - MESURES.

192. — La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques déduite des fréquences de résonance d'une cavité cylindrique.

L. Essen et A. C. Gordon-Smith ; *Proc. Roy. Soc.*, série A, **194**, 2 septembre 1948, 3483/61.

La fréquence de résonance d'une cavité résonante vidée, ayant la forme d'un cylindre circulaire droit est donnée par la formule :

$$f = v_0 \sqrt{\left[\left(\frac{r}{\pi D}\right)^2 + \left(\frac{n}{2L}\right)^2\right]\left[1 - \frac{1}{2Q}\right]}$$

où v_0 est la vitesse des ondes électromagnétiques dans l'espace libre, D et L respectivement le diamètre intérieur et la longueur r une constante correspondant à un mode particulier de résonance, n le nombre de demi-longueurs d'onde dans le résonateur et Q le facteur de qualité. Si cette expression est valable, la valeur de v_0 peut être obtenue à partir des valeurs mesurées de f, D, L et Q.

Les auteurs ont fait construire un cylindre de cuivre de 7,4 cm de diamètre et de 8,5 cm de longueur environ ; des soins particuliers ont été apportés à l'uniformité du diamètre, à la perpendicularité des faces terminales et les dimensions ont été mesurées avec précision. Les fréquences de résonance pour un certain nombre de modes différents ont été mesurées et on a vérifié expérimentalement que les effets, sur ces fréquences, des sondes de couplages avec l'oscillateur et le détecteur, étaient très faibles et négligeables. On a conclu des mesures faites que les conditions expérimentales les plus favorables étaient obtenues avec les modes E 010 et E 011.

Finalement, les auteurs ont obtenu

$$v_0 = 299.792 \text{ km/sec}$$

et ils ont estimé l'erreur maxima à 9 km/sec. La valeur est plus grande de 16 km que les valeurs les plus récentes obtenues pour la vitesse de la lumière.

P. A.

T. 2. - RAYONNEMENT - PROPAGATION.

212.7. — Diagrammes de rayonnement de tiges diélectriques. Expériences et théorie.

R. B. Watson, C. W. Horton, *J. Appl. Phys.* **19**, juillet 1948, 661/670.

Dans une première partie, les auteurs calculent le champ d'une tige diélectrique terminant un guide. Cette tige est à section rectangulaire s'effilant progressivement ; le mode d'excitation est le $TE_{0,1}$.

Les auteurs discutent les différentes composantes de courant induites à la surface par les champs électrique et magnétique ; ils en déduisent le diagramme de rayonnement.

Dans une seconde partie, est donnée la description sommaire d'un dispositif expérimental de vérification ; la concordance trouvée est généralement bonne, du moins pour le diagramme principal aux environs de l'axe (jusqu'à 45° de celui-ci).

P. D.

232.5. — 254. — Effets d'« ombre radioélectrique » produits par les inversions du gradient atmosphérique.

W. L. Price, *Proc. Phys. Soc.*, **61**, 1er juillet 1948, 59/78.

On sait que les « inversions » dans les gradients de température, d'humidité, et par suite d'indice de réfraction de l'atmosphère, produisent souvent à la surface de la mer des « conduits » (« ducts ») où la propagation des ondes ultra-courtes est exceptionnellement bonne, d'où portées anormales des radars.

L'attention du Laboratoire de Radiophysique Australien s'est tournée vers une conséquence fâcheuse de ce phénomène : cette amélioration de propagation en surface doit être payée par un défaut de propagation en altitude. Un calcul complet de la courbure des rayons en atmosphère stratifiée, montre en effet l'existence de zones d'« ombre » ou de « demi-ombre » au-dessus du « conduit ». Une série d'expériences très soignées a été faite, en observant, sur un radar côtier, la détection d'un avion qui manœuvrait au large, en variant son altitude et en enregistrant les constantes atmosphériques. Complètement analysés par des séries de graphiques, les résultats se montrent en bon accord avec la théorie, et les zones d'ombre « existent bien, dans certaines conditions météorologiques possibles à prévoir ».

P. D.

234. — Détermination et prévision de la propagation des ondes courtes, et application aux liaisons navales.

E. Beghian, *J. Inst. El. Eng.* III, septembre 1948, 351/361.

Dans une première partie, l'auteur discute les formules de l'absorption des ondes courtes dans l'ionosphère, et par suite le calcul de la fréquence minima utilisable. Il affirme que deux expressions semi-empiriques, l'une pour les courtes distances, l'autre pour les grandes distances, donnent des approximations suffisantes ; il les traduit par une méthode graphique avec monogrammes, abaques et calques glissants, et donne quelques spécimens des résultats obtenus.

Dans une seconde partie, il indique les procédés de prévision particuliers à l'Amirauté britannique. Il s'agit d'indiquer aux navires et aux stations côtières, quelles fréquences (parmi un certain nombre assignées) sont les plus favorables pour une liaison donnée à une heure donnée. Des tables et des cartes montrant les fréquences maximum et minimum, sont établies périodiquement et des exemples en sont reproduits.

L'article n'indique pas dans quelle mesure les prévisions ainsi faites donnent effectivement satisfaction aux usagers.

P. D.

248. — 555. — Etude des échos radar « transitoires » de l'ionosphère.

E. Eastwood, K. A. Mercer, *Proc. Phys. Soc.*, **61**, 1er août 1948, 2.

Compte-rendu d'expériences entreprises pour éclaircir l'origine de certains échos brefs et mystérieux observés dans la bande 20/45 Mc/s. Variations diurnes et saisonnières. Influence des éclipses. Distribution en hauteur (localisation vers 86 km).

Ces résultats confirment nettement l'hypothèse que ces échos doivent être attribués aux météorites.

P. D.

FABRICANT DES
REDRESSEURS
OXYMÉTAL
WESTALITE

Nouvelle adresse :

16, RUE DE LA VILLE-L'ÉVÊQUE

PARIS (8e) • TÉL. : ANJOU 17-51

261. — Mesure des constantes diélectriques du sol et de l'eau sur ondes de longueurs 3,2 cm.

A. W. STRAITON, C. W. TOLBERT, *J. Frankl. Inst.*, **246**, juillet 1948, 13/20.

Mesures faites en introduisant un échantillon de la substance étudiée dans un guide, ou entre les embouchures de deux guides, et en déterminant l'affaiblissement et le déphasage en fonction de l'épaisseur. Résultats concordants par ces diverses variantes :

Echantillon	Constante diélectrique	Conductibilité (Mhos [mètre).
Sols de l'Arizona		
Normaux ..... suivant grain	2,7 à 3,2	0,086 à 0,12
Avec 1/17 d'eau	8,1	1,1
Avec 1/5 d'eau	19	2,5
Eau douce	67	12
Eau de mer (2,2 % sel)	65	16

Pour un sol du Texas, les résultats sont un peu différents, la conductibilité dix fois plus faible s'il est très sec. Cependant la conductibilité ainsi mesurée est plus grande qu'en ondes longues.

P. D.

261. — L'affaiblissement des ondes électromagnétiques ultra-courtes dans un sol rocheux.

R. I. B. COOPER, *Proc. Phys. Soc.*, **61**, 1er juillet 1948, 40/47.

Rassemblant les formules et les valeurs numériques connues, sur les constantes ε et μ d'un sol rocheux sec, l'auteur avait pensé que la pénétration des ondes très courtes devait y être suffisante pour permettre certains sondages souterrains par émission et réception d'impulsions brèves ; on aurait pu espérer ainsi un appoint nouveau aux méthodes de prospection géophysique.

L'expérience a été faite avec soin en divers sites choisis, en utilisant des tunnels : un émetteur genre « Radar », puissance crête 100 Kw sur fréquence 200 Mc/s, attaquait un « guide » pénétrant dans le sol, au-dessus du tunnel ; et dans ce tunnel, on explorait le champ au moyen d'un récepteur de mesure Bien entendu, une certaine énergie arrivait par les ouvertures, mais on cherchait à découvrir un renforcement, dû à la transmission directe à travers le roc, juste au-dessous de l'émetteur. On n'a pu le trouver que dans un cas, et l'affaiblissement correspondant était de 3,2 décibel par pied (10 db/mètre), c'est-à-dire environ 20 fois celui prévu. C'est donc prohibitif pour les sondages espérés, et cela semble indiquer que, même dans un sol supposé très sec (en Angleterre), il subsiste toujours un appréciable degré d'humidité (au moins 15 %).

P. D.

T. 4. - AMPLIFICATION ET RÉCEPTION.

430. — Le « transistor », triode semi-conductrice.

J. BARDEEN, W. H. BRATTAIN, *Phys. Rev.*, **74**, 15 juillet 1948, 230/231.

On sait que le contact d'une pointe métallique sur la couche semi-conductrice superficielle d'un cristal de germanium, donne lieu à des effets de redressement ; les détecteurs utilisant ce principe sont maintenant bien connus.

Mais on a observé que si deux contacts semblables sont placés très près, il se produit entre eux une « influence mutuelle » ; le flot des « trous positifs » dans les électrons, passant à travers le contact « collecteur », subit une variation par l'effet du courant dans le contact « émetteur », et cette variation est plus importante que le courant de commande. Il peut donc y avoir amplification en énergie. Des gains de 20 dB ont été réalisés jusqu'aux fréquences de 10 Mc/s.

Les « caractéristiques » d'un telle « triode semi-conductrice » sont données ; dans une lettre ultérieure (p. 231-232), les auteurs esquissent le mécanisme possible de cette curieuse propriété.

P. D.

(Voir également Electronics, septembre 1948, p. 68-71 et Wireless World, octobre 1948, p. 358).

48. — « Le Synchrodyne ».

D. G. TUCKER ; *Electronic Engineering*, **XIX**, mars 1947, 75-76 ; août 1947, 241-244 ; septembre 1947, 276-277.

Dans le numéro de mars, l'auteur donne un aperçu général du dispositif :

Les récepteurs de radio sont, dans l'ensemble, du type à changement de fréquence ou à amplification directe avec, dans tous les cas, un dispositif de détection mettant en œuvre un processus de redressement.

La sélectivité est obtenue par des circuits accordés ou des filtres passe-bande et il est connu que les qualités de sélectivité et de fidelité sont, jusqu'à un certain point, contradictoires. Cette difficulté peut être tournée en utilisant un procédé de détection où le signal désiré est, sans filtrage préalable, démodulé en le mélangeant à une fréquence produite localement, rigoureusement égale à la fréquence porteuse. La modulation du signal désiré est alors obtenue correctement et les signaux brouilleurs donnent naissance à des fréquences élevées qui peuvent être éliminées après la détection par un filtre passe-bas simple.

La haute fréquence produite localement pour assurer la démodulation doit être synchronisée sur la fréquence porteuse du signal désiré et il est évident qu'on ne peut utiliser un oscillateur libre, mais bien un oscillateur asservi. On obtient la synchronisation de cet oscillateur en injectant dans son circuit tout ou partie du signal désiré. L'auteur donne le nom de « *synchrodyne* » aux récepteurs utilisant ce principe.

Le numéro d'août développe quelques considérations théoriques sur les problèmes de la démodulation et de la synchronisation.

L'auteur indique de quelle manière la démodulation d'un signal est possible en utilisant une oscillation auxiliaire convenablement synchronisée et un démodulateur comportant des cellules redresseuses montées « en anneau ». La synchronisation de l'oscillateur auxiliaire est obtenue en tenant compte du fait que certaines caractéristiques de tout oscillateur varient avec l'amplitude des oscillations. La fréquence porteuse du signal à recevoir est injectée dans la grille de l'oscillateur auxiliaire préalablement réglé au voisinage du synchronisme). L'amplification de cette fréquence par la lampe oscillatrice est très grande — valeur élevée de la réaction positive — si bien que l'oscillation naturelle se synchronise sur l'oscillation injectée (1).

Le numéro de septembre donne la description succincte de trois récepteurs « synchrodyne ».

R. C.

(1). — Un procédé de réaction synchrone analogue a déjà été décrit par De Bellescize dans l'O. E., numéro de mai, juin, juillet, août 1932. (N. D. L. R.)

T. 5. - EXPLOITATION ET APPLICATIONS.

55. — Wireless Direction Finding.

par R. KEEN. 1 vol. 1060 pages — 633 illustrations Editions Iliffe and sons, Dorset House, Stamford Street London SE. 1

C'est la quatrième édition d'un ouvrage qui parut pour la première fois en 1922. Dans sa préface l'auteur explique que la nouvelle édition devait voir le jour en 1943. Il fut alors jugé nécessaire de compléter le livre en tenant compte des progrès de la technique pendant la guerre. Il faut bien noter d'ailleurs qu'il s'agit beaucoup plus de perfectionnements d'une technique déjà largement connue, que de découvertes nouvelles. Il en résulte que l'auteur a pu conserver l'essentiel de son premier ouvrage et ajouter des chapitres complémentaires.

Le livre traite donc largement l'histoire des découvertes successives, le progrès de la technique etc ... Ces questions font l'objet du premier chapitre. Le chapitre suivant concerne la propagation du rayonnement électromagnétique, en tenant compte tout spécialement des propriétés de l'ionosphère.

Les systèmes classiques utilisant des cadres orientables ou des cadres fixes (Bellini-Tozi) sont étudiés par la suite. L'auteur insiste particulièrement sur les erreurs dues à la polarisation du rayonnement et montre les avantages du système à antennes fixes (Adcock). L'étude de ce dernier fait l'objet d'un chapitre spécial.

La pratique même de la radiogoniométrie, l'installation des stations, l'utilisation des résultats sont étudiées avec détail.

COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES

Direction générale — Usine et service commercial

2, RUE DES ENTREPRENEURS
PARIS (XV^e^)
VAU. 38-71

CIT

- ÉQUIPEMENTS TÉLÉPHONIQUES & TÉLÉGRAPHIQUES
- CENTRAUX TÉLÉPHONIQUES PUBLICS & PRIVÉS
- APPAREILS DE MESURE
- SONORISATION

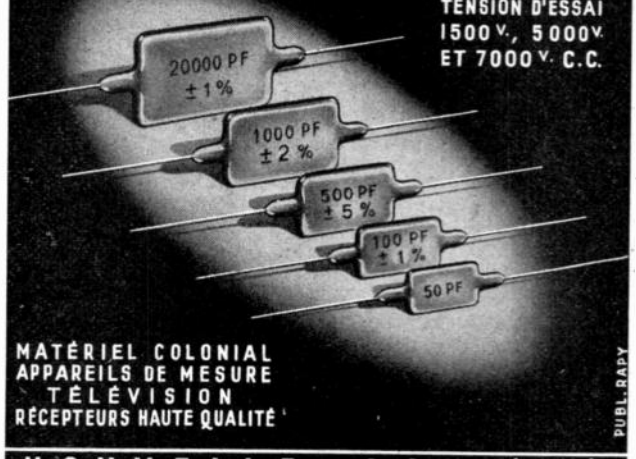
PUBL. RAPY

CONDENSATEURS AU MICA

STEAFIX

POUR USAGES TROPICAUX

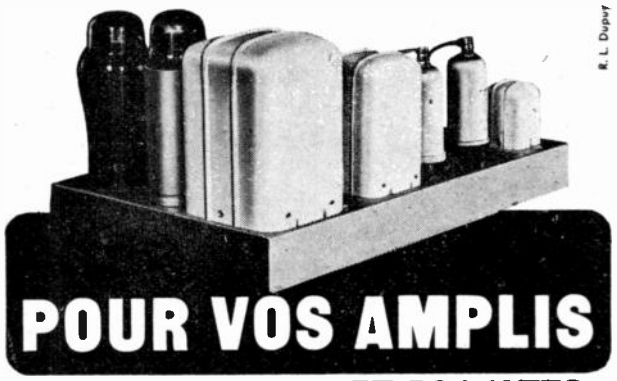
TENSION D'ESSAI
1500 V., 5000 V.
ET 7000 V. C.C.



MATÉRIEL COLONIAL
APPAREILS DE MESURE
TÉLÉVISION
RÉCEPTEURS HAUTE QUALITÉ

PUBL. RAPY

NOUVELLE SOCIÉTÉ
STÉAFIX
17, RUE FRANCOEUR PARIS 18^e^ · MON. 61-19 & 02-93



R. L. Dupuy

POUR VOS AMPLIS

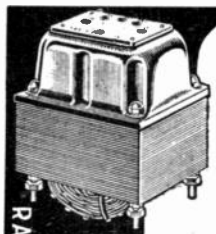
DE 8, 15, 25 ET 50 WATTS

Utilisez les transformateurs selfs correcteurs fabriqués par la

Documents et schémas sur demande au service BF 7

★ Société OMEGA

15, rue de Milan · PARIS (9^e^) · Tél. : TRI. 17-60
11-13, r. Songieu, VILLEURBANNE · Tél. : VIL. 89-90



TOUS LES TRANSFORMATEURS RADIO ET INDUSTRIE

TRANSFOS D'ALIMENTATION
Entièrement conformes aux règles de l'U. T. E

SELFS INDUCTANCE
Modèles spéciaux tropicalisés

SURVOLTEURS · DÉVOLTEURS

– Branche Professionnelle . –
TOUS LES TRANSFOS, SELFS ET B.F.
Pour : Émission, Réception, Télévision, Sonorisation

TRANSFOS H^te^ ET B^se^ TENSION
Toutes applications industrielles

LES PLUS HAUTES RÉFÉRENCES

PUBL. RAPY

ETS VEDOVELLI, ROUSSEAU & CIE
5, Rue JEAN MACÉ · Suresnes (SEINE) Tél: LON 14-47, 48 & 50

Condensateurs au Mica

SPÉCIALEMENT TRAITÉS POUR HF

Procédés « Micargent »

TYPES SPÉCIAUX SOUS STÉATITE

Emission-Réception pour petite puissance jusqu'à 20.000 volts

SSM RADIO

André SERF

127, Faubourg du Temple
PARIS (10^e^) *Nor* 10-17

PUBL. RAPY

L'installation des radiogoniomètres à bord d'un navire ou d'un avion soulève des difficultés toutes spéciales qui sont examinées dans un chapitre particulier.

Citons encore, parmi d'autres titres de chapitre :

« Appareils d'approche et d'atterrissage des avions (chap. 15).

Systèmes utilisant des présentations particulières (chap. 16).

Systèmes de Navigation (Gee, Loran, Decca, Consol) (chapitre 17).

Enfin l'ouvrage comporte un index très détaillé, permettant de retrouver facilement un renseignement quelconque. Il est complété par des références bibliographiques nombreuses et bien choisies.

L'auteur a délibérément laissé de côté tout ce qui concerne le radar. Le livre est écrit avec un grand souci du détail, en recherchant l'explication physique plutôt que le développement mathématique. Il s'adresse suivant l'expression même de l'auteur dans la préface de la première édition « à l'ingénieur qui s'attaque pour la première fois à la question de la radiogoniométrie, à l'opérateur chargé d'utiliser une installation radiogoniométrique ou à l'étudiant en Radiotechnique générale ».

L. C

550. — 555. — Un radar de port. Détails de l'installation de Liverpool.

R. F. HANSFORD, *Wir. World*, **LIV**, septembre 1948, 317/320

On a depuis longtemps souligné l'intérêt que présente, pour les autorités d'un port, la surveillance des mouvements des navires, même par temps bouché, au moyen du radar.

Mais le problème est difficile à résoudre dans des ports tels que Liverpool, où les passes sont à la fois très étroites et très encombrées : il faut une précision et un « pouvoir séparateur » supérieurs à ceux des appareils habituels ; il faut coordonner les indications de l'oscilloscope avec l'identification des navires et la transmission des ordres ou avis ; il faut une exploitation sûre et suffisamment économique.

L'article décrit l'installation réalisée par la Cie Sperry ; placé juste à l'embouchure de la Mersey, le radar surveille à la fois la rivière et la baie, jusqu'à une vingtaine de milles : cette zone étant répartie entre six oscilloscopes d'observation. L'émetteur fournit, sur l'onde de 3 cm, des impulsions de 0,25 microseconde, avec une puissance-crête de 30 kw une antenne « fromage » de taille exceptionnelle (5 mètres de large), pesant 3/4 de tonne, donne un faisceau de 0,7 degré seulement (entre points à — 6 dB) ; elle tourne à 10 tours/seconde au sommet d'une tour de hauteur 27 m.

Des liaisons par fil ou sans fil sont prévues avec les bureaux du port, les navires entrant et sortant, les bateaux-pilotes, etc. Un relais à distance des oscilloscopes est envisagé dans l'avenir.

P. D.

555. — Présentation de trois dimensions sur le tube oscilloscope.

E. PARKER et P. R. WALLIS.

J. Inst. El. Eng., III, septembre 1948, 371/390.

L'intérêt de présenter sur l'écran de l'oscilloscope, les trois dimensions de l'espace, est évident pour beaucoup d'applications, dont le Radar ; et des recherches à ce sujet ont été entreprises en Angleterre depuis 1942. Les auteurs présentent une vue générale des solutions possibles.

On peut chercher un effet de perspective simple, en déformant l'image habituelle à deux dimensions, par l'effet de la troisième : des combinaisons mécaniques à miroir tournant ou écran tournant, peuvent produire réellement ce résultat à l'extérieur du tube. On peut aussi obtenir l'effet apparent correspondant, en combinant simplement les trois grandeurs électriques représentant les coordonnées, avant de les appliquer aux balayages ; on peut réaliser des obliquités ; on peut (par une combinaison d'écrans colorés tournants) donner l'impression de la troisième dimension par un changement de couleur. Enfin, on peut faire appel, avec une double image corrigée, à l'effet stéréoscopique. Mais une mise au point délicate est nécessaire avec ces procédés.

P. D.

555. — Radar aids to navigation (L'aide du radar à la navigation).

par John S. HALL. 1 volume relié de 390 pages format 16 × 23 avec de nombreuses photographies et schémas.

Edité par Mc Graw-Hill, New-York et Londres.

C'est le second volume de la collection patronnée par le « Massachusetts institute of Technology ». Radiation Laboratory séries 6. La collection complète comportera 28 volumes dont nous avons précédemment donné la liste.

Le volume II, auquel de nombreux spécialistes ont collaboré étudie les avantages apportés par l'équipement radar au problème de la navigation, qu'il s'agisse aussi bien d'avions que de navires.

Le volume est écrit de manière à pouvoir être lu par les non-techniciens ayant une culture scientifique moyenne.

Les principes généraux du radar sont exposés dans le chapitre I.

Le chapitre II expose des méthodes de navigation qui ne sont pas spécifiquement des applications du radar : système Gee, Loran, SSLoran, Decca etc ...

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à l'emploi du radar à bord des avions. (P. P. T., altimètres etc ...).

L'emploi des radars terrestres pour l'aide à la navigation aérienne est étudié dans la troisième partie. Parmi les techniques spéciales dont le principe est exposé, citons la retransmission des résultats fournis par radar (radar Pelon) et la transmission des renseignements cartographiques.

La quatrième partie a trait à l'emploi du radar dans la marine pilotage, navigation etc ...

L. C.

555. — Technique élémentaire de radar.

par André de SAINT-ROMAIN, Editions, Dunod. (Paris).

L'auteur pose d'abord le problème de la « Radiolocation » ; après un bref historique, il donne l'équation dite du radar, puis définit et compare les méthodes de détection par impulsions et par modulationde fréquence.

Dans un deuxième chapitre, l'auteur porte d'abord son attention sur les systèmes de transmission, il rappelle les notions de base introduites dans l'étude classique de la propagation sur lignes ; puis les propriétés essentielles des guides d'ondes. Il passe ensuite aux dispositifs rayonnants : quelques pages sont réservées aux dipôles et assemblages de dipôles ; mention est faite des cornets, des antennes diélectriques, des fentes rayonnantes ; des réalisations techniques particulières sont décrites : joints rotatifs, commutateurs d'aériens, boîtes AR et TAR ...

Le chapitre III est consacré à l'étude des tubes hyperfréquences triodes à grille positive, klystrons, magnétrons.

Dans le chapitre IV, l'auteur étudie les circuits électroniques employés en technique radar, en particulier pour la synchronisation, la modulation et obtention de bases de temps. Application est faite aux différents types d'indicateurs (écrans A, B, J — P. P. I.). Ce chapitre se termine sur l'étude des récepteurs radar et des interconnexions reliant les différents éléments d'un radar.

Dans le chapitre V des renseignements sont donnés sur le système d'identification I. F. F. et sur les radiophares ; sur les brouillages anti-radar ; quelques mots sur les télécommunications par impulsions et un développement plus substantiel sur le système de navigation hyperbolique Loran.

Le chapitre VI est consacré aux dispositifs utilisant la modulation de fréquence (radars, altimètres, fusées de proximité).

L'auteur s'est proposé de réunir sous forme élémentaire les caractéristiques essentielles de la technique Radar, Son livre qui comporte 226 pages, n'est donc pas une nomenclature des différentes réalisations effectuées, ici ou là, dans les dispositifs radar. Des « poids » assez différents ont été, d'autre part, attribués dans son exposé aux différents éléments constituant ces dispositifs. Mais les questions traitées le sont toujours avec le maximum de clarté, qu'il s'agisse de la présentation de fonds, de la présentation matérielle ou du langage facile, on dirait presque agréable, s'il ne s'agissait d'un ouvrage technique. La lecture de « La technique élémentaire du radar » doit être très utile aux non spécialistes et ne devrait pas être inutile aux spécialistes.

R. R.

555. — Radar Beacons (guidage par radar).

par Arthur ROBERTS

1 volume relié de 489 pages, Editeur : Mac Graw Hill Book Compagny.

C'est faute d'un meilleur terme que nous traduisons « Beacons » par guidage. Ce dernier mot traduit bien l'idée générale mais n'est pas rigoureusement précis.

MAZDA

ÉMISSION
RÉCEPTION
TUBES à RAYONS
CATHODIQUES

3 T 1000 A
TRIODE de 1000 Watts
Un des nouveaux Tubes
de la série A Émission

P. 54

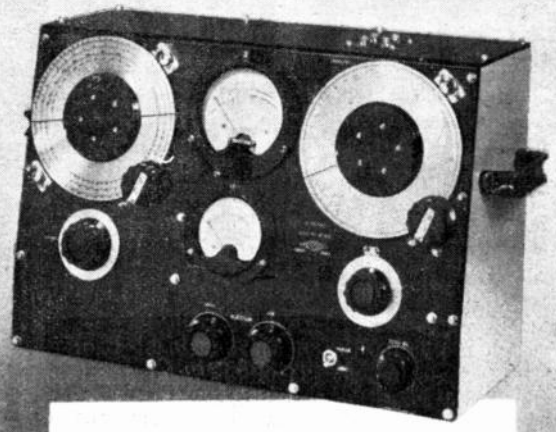
COMPAGNIE DES LAMPES

29, RUE DE LISBONNE - PARIS - VIIIe

CHAMPROSAY

présente
ses
NOUVEAUTÉS 1949

FERISOL



Q MÈTRE type M. 7

- Fréquence 75 Mcs à 50 Kcs en 10 G.
- Précision ± 1 % en fréquence
- Surtension 250 - 500 à 5 % j. à 30 Mcs
- Capacité de Mesures : 30 à 450 pF à ± 1 pF
- Vernier ± 3 pF à ± 0,1 pF

GÉNÉRATEUR H. F. - GÉNÉRATEUR O C
GÉNÉRATEUR D'IMPULSIONS, etc... Dem. doc.

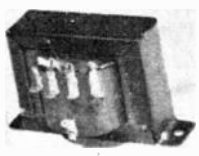
GEFFROY & Cie CONSTRUCTEURS

9, Rue des CLOYS - PARIS - MON. 44 65. (3 LIGNES)

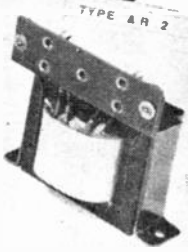
AG. PUBLÉDITEC DOMENACH

AUTOTRANSFORMATEUR SÉRIE AR

TYPE AR 1



TYPE AR 2



ALTER

ALIMENTATION
économique
DES NOUVELLES LAMPES
RIMLOCK et MÉDIUM

M. C. B. ET VÉRITABLE ALTER

11, rue Pierre Lhomme - Courbevoie (Seine) — Tél. : DEFense + 20-90

DOCUMENTATION R P SUR DEMANDE

R. L. Dupuy

D'après l'auteur un « Beacon » est :

« Un appareil qui est normalement silencieux, qui est passif. Sans une stimulation extérieure, un « beacon » ne fait rien. Quand un signal pulsatoire convenable l'atteint, l'appareil est actionné par le signal reçu et émet une impulsion ou une série d'impulsions. Le procédé par lequel un radar transmet un signal convenable pour déclencher le « beacon » est désigné par « l'interrogation ». La chaîne de communication ainsi établie est appelée « chaîne d'interrogation ». Tout appareil utilisé pour interroger un beacon peut être désigné par le terme interrogateur ».

« Quand le « beacon » est interrogé, il émet des signaux qui sont reçus par l'interrogateur. La chaîne indépendante de communication ainsi établie est appelée « la chaîne de réponse », le beacon est dit avoir répondu à l'interrogation ».

Les appareils répondeurs et interrogateurs sont utilisés non seulement pour identifier les avions, sous-marins, navires de surface, (système I. F. F.) mais aussi pour le guidage des avions de bombardements vers leurs objectifs, le guidage des troupes parachutées etc ...

L'ouvrage en question étudie ces différents cas. Il est divisé en quatre parties. La première traite des questions générales : principes généraux, propagation, codage etc ...

La seconde est consacrée à la construction des appareils et à l'étude de leurs différentes parties.

Le système « interrogateur » fait l'objet de la troisième partie.

Enfin, les questions pratiques : installation, utilisation et entretien sont étudiées dans la dernière partie.

C'est un ouvrage d'autant plus intéressant qu'il revèle un aspect nouveau de la technique du radar et qu'à notre connaissance, il est le premier paru sur ces questions particulières.

L. C.

555. — L'emploi du radar pour la détermination des emplacements de mortiers.

Coast Artillery Journal, janvier-février 1948, *Revue des Transmissions*, juillet 1948, 27 31.

Les « mortiers » en question, souvent employés avec efficacité dans la guerre depuis 1943, sont des armes de calibres variés (en moyenne 60-80 mm), à tir rapide, très légères et mobiles. La vitesse initiale des projectiles est faible, et l'angle de tir grand (45/85°), de telle sorte que si la détection par le radar est possible, il suffit de connaître 2 ou 3 points de la trajectoire (ou même un seul, assez près de l'origine) pour localiser le mortier.

Les études, entreprises aux Etats-Unis en 1944, aboutirent rapidement à la fabrication de plusieurs matériels permettant ce repérage.

L'AN/TPQ 3 et l'AN/TPQ/4 sont des variantes du radar léger AN/TPS 3, à balayage et indicateur modifiés pour donner plus de précision à faible distance ; leur portée va de 3000 à 12.000 mètres. Ils s'emploient en faisant noter par l'opérateur, les extrémités de la trajectoire visible sur l'écran : connaissant leur direction et leur distance, on reconstitue cette trajectoire jusqu'à son origine (à ± 50 m près).

Le SCR 584 à poursuite automatique, a été également modifié pour cet usage ; avec lui, l'opérateur ayant observé un premier coup, pointe l'appareil vers la région du départ, et le déclanche en poursuite automatique sur le coup suivant : toute la trajectoire est ainsi enregistrée, et un calculateur électronique, adjoint au radar, fournit en une minute les coordonnées du mortier, à + 25 m. près (portée 8000-9000 m).

Enfin, un matériel nouveau, le « Specialized mortar locator », a été mis au point pour cette application. Il fonctionne sur l'onde 1,25 cm, ce qui lui donne avec un encombrement modéré, un faisceau très aigu (0,6° en hauteur, 1° en largeur) et par suite une précision accrue : + 15 m. Mais la portée diminue (4000-5000 m) et le fonctionnement est perturbé par la pluie, les oiseaux « et même les insectes ».

L'emplacement des radars anti-mortiers doit être choisi avec soin (de préférence à contre-pente) pour éviter les échos fixes.

P. D.

T. 6. - DÉTAILS ET CONSTRUCTION DES APPAREILS ET DU MATÉRIEL.

63. — Tropicalisation des matériaux utilisés dans la construction des tubes électroniques.

Conférence de M. TREBUCHON faite le 25 mai 1948 à la Société Française des Ingénieurs Techniciens du Vide.

Après avoir montré la nécessité de la tropicalisation des tubes électroniques, le conférencier examine quels sont les principaux éléments perturbateurs et leurs effets, et compte tenu des exigences du processus de fabrication des tubes, comment se pose le problème de la tropicalisation pour les techniciens des tubes électroniques ; protection : des matériaux soudables utilisés dans la fabrication de l'enveloppe et leurs assemblages étanches ; des matériaux utilisés dans la fabrication des connexions, culots, supports, pâtes à culotter ...

Sont étudiés ensuite les différents documents et cahiers des charges officiels français concernant la tropicalisation. Les différentes méthodes de détermination de la résistance des métaux et verres, utilisables ou utilisées, sont aussi examinées.

Les résultats des études font apparaître que le problème de la tropicalisation des tubes peut se résoudre facilement au sein de l'industrie française, soit par les matériaux assurant d'eux-mêmes une bonne tenue :

— verres à indice de solubilité faible et à bonnes qualités électriques.

— métaux pratiquement inaltérables.

Soit par une protection convenable des matériaux :

— revêtements galvanoplastiques : Cr, Ni, Ag, Cd, Sn à choisir suivant les qualités électriques désirées.

— revêtement de silicones.

— technique nouvelle de soudure verre-métal (enrobage incolore).

— revêtement de vernis fungicides sur les parties où les conditions électriques le permettent.

PIONNIER DE LA
TÉLÉVISION
DEPUIS
1929

LA RADIO-INDUSTRIE

est toujours au premier rang

DE LA
TECHNIQUE INTERNATIONALE

25, R. du Dr FINLAY — 55, R. des ORTEAUX

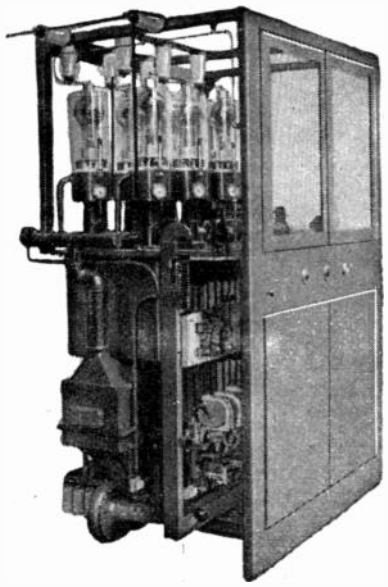
PARIS

PUBL. RAPY

S. F. M. E.

Société Française de Matériel Electrique

62, Rue Denis-Papin, PANTIN (Seine) - Téléphone : NORD 47-62



Redresseur — 15.000 volts — 5 ampères

● Redresseurs. Bobines de Self-Inductance pour filtrage de courants redressés. ● Transformateurs spéciaux. ● Réglage de la Tension. ● Tableaux et pupitres de commande.

Nombreuses Références dans les Stations d'Emission

PANTIN

SIR

S.A.R.L. capital 1.500.000 francs

100, Boulevard Voltaire, ASNIÈRES (Seine)

Téléphone : GRÉsillons 24-60 à 62

APPAREILS DE MESURE

VOLTMÈTRES A LAMPES
VOLTMÈTRES ÉLECTRONIQUES
FRÉQUENCEMÈTRES
OSCILLOGRAPHES
MODULATEURS DE FRÉQUENCE

MATÉRIEL PROFESSIONNEL

ÉMISSION - RÉCEPTION
CONTROLEURS DE GAMMES

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE

RADIOÉLECTRIQUE

PUBLÉDITEC-DOMENACH

AIR

RADIO AIR

FOURNISSEUR DES DÉPARTEMENTS MINISTERIELS

FICHES
BOUTONS
CONDENSATEURS
●
MATÉRIEL PROFESSIONNEL

PUBL. RAPY

APPLICATIONS INDUSTRIELLES RADIOÉLECTRIQUES

S.A. CAPITAL 5.000.000 Frs

2, Avenue de la MARNE-ASNIERES (Seine) Tél: GRÉ. 12-06

Usines à NEUILLY-s/-Seine et BRIONNE (Eure)

PREMIÈRE PARTIE

I. — SITUATION DE L'INDUSTRIE DE LA PIÈCE DÉTACHÉE

Trois étapes marquent l'évolution de cette industrie pendant les dix dernières années :

1°) Avant la guerre ou la période de préparation industrielle à la guerre, la situation était à peu près la même dans tous les grands pays, toutes proportions gardées. C'est-à-dire que le nombre des entreprises était plus ou moins élevé suivant l'importance du marché intérieur et les possibilités d'exportation, mais il y avait toujours une très grande majorité de petites ou moyennes entreprises et un nombre très réduit de grandes firmes. L'effort de fabrication était généralement concentré sur les pièces détachées des récepteurs de radiodiffusion qui représentaient le chiffre d'affaires principal. Certains fabricants s'attachaient à garantir une qualité supérieure. En réalité, il s'agissait moins d'un niveau de qualité plus élevé que d'une qualité toujours constante, grâce à une vérification sévère des matières premières et à des contrôles minutieux en cours et en fin de fabrication. C'était l'avantage certain des entreprises les mieux organisées. Des essais de rationalisation et de normalisation avaient été entrepris ; cependant la concurrence restait très âpre. Il y avait surproduction dans bien des pays et les barrières douanières n'empêchaient pas toujours le dumping.

Les pièces destinées à l'équipement des matériels récepteurs à usages professionnels (y compris les matériels militaires) étaient en général les mêmes. Seules les pièces pour les matériels spéciaux ou pour l'émission, échappant davantage à la concurrence étaient d'une sécurité plus élevée. Peu d'industriels de la pièce détachée s'intéressaient à ces fabrications et les constructeurs de matériel professionnel exécutaient souvent dans leurs propres ateliers les pièces de qualité dont ils avaient besoin.

2°) Pendant la guerre, la situation a été entièrement bouleversée. Les Alliés ont réalisé de très grands progrès dans la qualité des pièces destinées à l'équipement des matériels de campagne. Le développement des Télécommunications, le radar, les matériels de bord d'aéronefs, de véhicules ou d'embarcations, les appareils minuscules de parachutistes, de fusées etc ... ont imposé des pièces pouvant résister à des contraintes mécaniques et à des facteurs climatiques nouveaux.

Les Allemands ont fait également un gros effort et sans doute les Japonais aussi, mais par suite de leur plus grande difficulté d'approvisionnement en matières premières, les études sur les pièces détachées ont consisté surtout dans la recherche des produits de remplacement, des ersatz d'isolants, dont certains sont d'ailleurs très intéressants.

En France, pendant l'occupation ennemie, les recherches étaient interdites ou surveillées. Heureusement quelques équipes de techniciens ont continué leurs travaux clandestinement, d'autres avec les alliés. On peut même affirmer que, dans le domaine des pièces détachées, cette période a connu un certain développement des moyens d'études, à vrai dire à peu près inexistants auparavant.

3°) Depuis la Libération et la fin des hostilités, la position de l'industrie de la pièce détachée peut se résumer ainsi :

Dans les pays Anglo-saxons, les grands laboratoires se sont multipliés, les études et les recherches commencées et poursuivies pendant la guerre, continuent. Les moyens énormes dont ont pu disposer les industriels américains et britanniques, leur permettent de mettre à la disposition du marché, des installations et des outillages très perfectionnés et en grande partie amortis. L'approvisionnement en matières premières est relativement bien assuré.

En Allemagne et dans l'Europe Centrale les ravages de la guerre ont désorganisé les entreprises mais certaines usines sont moins détruites qu'on pourrait le croire et recommencent à travailler. Les possibilités de fabrication et d'approvisionnement, comme les moyens d'études, sont à la merci des conditions économiques et politiques de la région.

Dans les pays du Benelux et peut être même en Italie l'industrie de la pièce détachée connaît un nouvel et rapide essor résultant sans doute des facilités d'approvisionnement d'outre mer. En Russie, les ingénieurs ont vraisemblablement tiré profit des réalisations de guerre des Anglo-saxons, mais il est impossible de se rendre compte de l'effort accompli et des possibilités actuelles.

En France enfin, la situation qui avait peu évolué ces dernières années a tendance à se modifier. L'insuffisance des laboratoires de recherches est toujours manifeste, mais le travail clandestin des ingénieurs radio n'aura pas été vain, car l'importance des études est maintenant reconnue de presque tous les chefs d'entreprises et le personnel qualifié ne fait pas défaut. Le nombre des entreprises n'a pas non plus diminué, bien au contraire, mais le Syndicat National des Industries Radioélectriques (SNIR) reconnaît lui-même que cet accroissement du nombre des fabricants de pièces détachées est inconsidéré et ne correspond à aucun développement du marché. Cette organisation professionnelle désire éviter, dans son sein, l'introduction d'éléments qui ne seraient pas hautement qualifiés. Le SNIR fait un gros effort en vue de reconstituer une industrie capable de répondre à toutes les exigenes. Une de ses sections est spécialement chargée d'étudier les problèmes qui se rapportent à la technique et à la fabrication des pièces détachées.

Il est à souhaiter que la mise en œuvre du plan Monnet puisse offrir, par l'application d'un programme suffisamment long, une garantie de stabilité déterminant l'évolution nécessaire de cette industrie de la pièce détachée.

Cependant tous les efforts seraient inopérants s'ils n'étaient complétés par la garantie d'un approvisionnement suffisant de matières premières en quantité et en qualité. Car le propre de la situation en France est le manque de matières convenables et d'outillages perfectionnés. Or les progrès constatés dans les pièces détachées étrangères sont dus, dans la plupart des cas, aux matières et aux outillages.

2. — CARACTÉRISTIQUES ET CONDITIONS DE LA MODERNISATION

Moderniser les pièces détachées veut certainement dire, mettre les fabrications au niveau des dernières réalisations, suivant la course du progrès scientifique, mais aussi les rénover, faire du nouveau en améliorant continuellement la production dans tous les domaines.

Dans la situation actuelle en France, les difficultés de l'industrie sont telles qu'il est évidemment nécessaire de procéder par étapes. Ainsi la première étape consistera bien souvent à combler le handicap causé par l'occupation.

On doit néanmoins souligner que l'amélioration de la production en quantité doit nécessiter un équipement correspondant à un niveau de livraisons supérieur aux demandes actuelles du marché et satisfaisant un programme de longue durée comprenant des exportations accrues. De même l'amélioration de la production en qualité doit nécessiter un équipement permettant non seulement d'atteindre le seuil connu du progrès mais de le dépasser. Ceci revient à dire qu'il ne nous suffit pas de réaliser les meilleurs modèles étrangers mais qu'il faut en étudier de supérieurs, de peur qu'au moment de leur réalisation en France, ces modèles ne soient déjà surclassés.

Par amélioration de la qualité nous entendons ici d'une façon générale toute augmentation de valeur, absolue ou relative, toute élévation du degré d'excellence d'un produit. Par suite l'amélioration de la qualité des pièces détachées sera par exemple :

a) l'augmentation de l'une ou l'autre des performances d'essai qui définissent un niveau technique donné.

Dans le domaine électrique : augmentation de la rigidité diélectrique, de l'isolement, des limites d'utilisation en puissance, en intensité, en fréquence, diminution de l'angle de pertes etc...

Dans le domaine mécanique : augmentation de la résistance à la rupture, à l'usure, aux déformations sous l'effet des diverses contraintes dûes à des forces de traction, de flexion, à des frottements, à des chocs ou des secousses, des accélérations, des vibrations, augmentation des limites d'emploi suivant les amplitudes et les fréquences de ces vibrations etc ...

Dans les domaines physiques chimique ou même biologique : augmentation de la résistance à la chaleur, à l'humidité, au froid, à la pression atmosphérique et aux variations plus ou moins brusques de ces facteurs climatiques : augmentation de la résistance à la corrosion (air salin, acides), aux microorganismes (moisissures) et aux insectes, à l'action de la lumière, des rayons solaires, aux poussières etc ...

b) la meilleure adaptation des formes, des dimensions, des matériaux pour l'usage envisagé ; diminution d'encombrement, de poids, fixation plus robuste ou plus aisée, facilité de manœuvre ou de transport, possibilité d'emploi dans des conditions originales etc...

c) la diminution du prix de revient.

Les différentes propriétés des objets, énumérées ci-dessus, sont considérées individuellement, c'est-à-dire que par exemple la diminution de prix ne peut être acceptée comme une augmentation relative de valeur qu'à condition de maintenir inchangées les autres propriétés : encombrement et poids, performances d'essais etc...

De même l'augmentation d'une performance ne doit pas entraîner la diminution d'une autre ; l'augmentation de résistance aux contraintes mécaniques ou à la chaleur ne doit pas entraîner une diminution de la rigidité diélectrique ou une augmentation de l'angle de pertes etc ...

Il est bien évident que ces conditions idéales ne sont jamais remplies et que le problème de la définition de la qualité d'un objet est beaucoup plus complexe. Il faut rechercher un compromis pour définir une amélioration, suivant les conditions d'emploi et en tenant compte de l'influence des diverses propriétés de l'objet, sur le rendement technique de l'ensemble des appareils, sur la durée de vie du matériel, sur les facilités d'exploitation, sur le prix et les délais de fabrication etc...

On est donc conduit à codifier tout cela et à fixer des limites et des tolérances à toutes les valeurs mesurables, trop nombreuses pour être citées ici.

Nous allons simplement indiquer quels sont les principaux moyens envisagés pour la modernisation et les tendances actuelles dans le cas des pièces détachées radio françaises. Mais le bouleversement des techniques est constant et ce ne sont là que 2 ou 3 points repères jalonnant la route souvent sinueuse du progrès.

La normalisation

Le programme a été résumé en 3 mots par Monsieur Salmon, Commissaire à la Normalisation : spécifier, unifier, simplifier. C'est bien là toute une partie du programme de Modernisation :

— spécifier, pour définir les produits, les règles d'établissement et les essais ; pour permettre ou susciter de nouvelles performances.

— unifier, pour obtenir des fabrications interchangeables, spécialement nécessaires dans le cas des pièces détachées.

— simplifier, pour améliorer le rendement et les prix de revient en coordonnant et en choisissant le meilleur.

Les constructeurs et les utilisateurs sont ensemble tombés d'accord sur la nécessité de normaliser.

Les profondes modifications apportées par la guerre dans la technique des Télécommunications, imposent partout un inévitable reclassement et de nouvelles conditions de sécurité,

En Grande Bretagne, de nombreuses spécifications de guerre sur les pièces détachées ont été publiées par la British Standard Institution pour le compte de l'Inter Service Radio Components Standardisation Committee. De même aux USA, les Départements de l'Armée, de la Marine ou les Transmissions (Signal Corps) ont établi une quantité de spécifications, parmi lesquelles les spécifications JAN,

communes à l'Armée et à la Marine. En Allemagne, le VDE a également multiplié avant la fin des hostilités les nombre des normes relatives aux pièces détachées. En France l'Union Technique de l'Electricité, a publié pendant la guerre une série de normes dénommées « Règles d'établissement des éléments entrant dans la construction des appareils de radiophonie ». Il s'agit seulement de normes de qualité pour les pièces des récepteurs et amplificateurs à usage non professionnel ; aussi de nouveaux documents établis sous l'égide du CNET et sur la base des travaux étrangers (en particulier du R. C. S. C. britannique) ont donné lieu, en collaboration avec le SNIR, à des spécifications unifiées CCTI depuis peu applicables au matériel professionnel.

Certains constructeurs pensent qu'un grand nombre de spécifications étrangères de guerre sont maintenant caduques ou tout au plus convenables au seul matériel militaire. Ils reprochent les prix élevés occasionnés par ces spécifications pour des sécurités jugées inutiles en dehors du temps de guerre.

D'autres au contraire sont convaincus que la qualité est toujours d'un bon rapport. A des sécurités plus élevées correspondent des possibilités nouvelles et en tout état de cause, le retour à un niveau de qualité inférieur à celui des fabrications de guerre, en vue d'une diminution des prix, engendrerait une nouvelle crise, comparable à celle d'avant guerre.

Que doit-il donc rester des spécifications de guerre une fois les matériels militaires ramenés à la proportion du temps de paix ? On peut penser raisonnablement que les prix baisseront et que la qualité née des exigences du moment subsistera.

En effet, contraints par les circonstances de guerre, les fabricants étrangers ne sont parvenus souvent à satisfaire aux exigences des normes qu'au moyen de matériaux plus chers ou en employant davantage de main d'œuvre.

Cependant la plupart de ces matériaux ne sont d'un prix élevé qu'à cause de leur nouveauté ou de leur emploi encore réservé ; c'est le cas par exemple des produits de synthèse dont les procédés de fabrication sont en complète évolution mais dont les composants sont de prix modique et répandus dans le monde.

Les prix diminueront avec l'extension des applications. De même la main d'œuvre diminuera avec les outillages de plus en plus perfectionnés et automatiques.

D'autre part la qualité des matériels civils ne doit pas être différente de celle des matériels militaires pour des conditions de service comparables. A de très rares exceptions près, au moins pour les pièces détachées, il faut maintenant envisager les mêmes performances dans l'Aéronautique civile et dans l'Aéronautique militaire ; de même dans la Marine marchande et la Marine militaire, ou encore dans les chemins de fer, les cars de police, les taxis même et les véhicules militaires etc...

On a coutume dans la Radio de considérer d'une part le matériel dit « amateur » comprenant les récepteurs de radiodiffusion et d'autre part le matériel « professionnel » comprenant tous les autres appareils, récepteurs ou émetteurs, appareils de mesure etc ... Nous avons vu dans la situation de l'industrie de la pièce détachée que le matériel amateur l'emportait de beaucoup sur le matériel professionnel avant guerre. Dans l'avenir, il n'en sera plus de même, par suite du développement de l'électronique (application industrielle de la HF et des hyperfréquences). L'accroissement du matériel amateur sera de moins en moins rapide, même en tenant compte de la Télévision qui d'ailleurs modifiera sans doute les conceptions de la qualité amateur. Les spécifications professionnelles auront donc de plus en plus d'importance et pour les pièces détachées au moins, il serait préférable de n'envisager qu'elles seules.

Mais il est un autre aspect de la question. En normalisation « Tout dépend de tout » et la coordination des normes n'est pas une des moindres attributions dévolues à l'AFNOR sous le contrôle du Commissaire à la Normalisation. Pour normaliser un matériel il faut normaliser d'abord les pièces qui le composent. De même on ne peut normaliser celles-ci sans l'existence de normes de base de la mécanique ou de matières. Cependant pour obtenir l'interchangeabilité, diminuer les prix et les délais de livraison il faut faire en tout un choix rationnel. Ce travail de coordination n'est pas simple ni sur le plan national ni surtout sur le plan international.

C'est dans la normalisation des dimensions et le choix des modèles que l'on éprouve en général le plus de difficultés. Sur le plan international l'adoption de modèles étrangers ne peut souvent donner satisfaction à la normalisation française pour les dimensions et l'échelonnement des valeurs en raison de l'antagonisme entre le système métrique et les mesures anglo-saxones, pour le nombre par suite de modèles surabondants, se chevauchant ou faisant parfois double-emploi. Sur le plan national il faut se garder de certains dangers parmi lesquels nous citerons :

— l'intérêt personnel et les préférences individuelles qui, avec le nombre d'entreprises, aboutissent à une prolifération extraordinaire de modèles.

— la routine, les oligarchies industrielles et le particularisme administratif, qui d'une part, imposent certains modèles en dehors de tout choix logique, et qui d'autre part, risquent de fixer pour toujours la technique et empêcher tout progrès, une fois la normalisation faite et l'uniformité des outillages accomplie.

— le caractère d'opposition latente entre les utilisateurs et les constructeurs : Les uns sont tentés d'exagérer les sécurités et le nombre de modèles, les autres sont plus soucieux du rendement de leur fabrication que de l'amélioration des produits et veulent bien unifier et simplifier mais sur leurs modèles seulement. Cette opposition provient généralement d'une incompréhension réciproque de l'importance des problèmes et de l'ignorance d'un côté comme de l'autre des besoins ou du résultat des travaux entrepris. Des réunions syndicales ou intersyndicales permettant l'examen en commun et la discussion bien préparée des projets de normes doivent enlever toute gravité à ces dangers.

D'ailleurs il ne faut pas normaliser à tout prix et il ne convient pas de tout normaliser. La plupart

du temps on le fait sous l'empire de la nécessité et les normes sont impératives ; mais dans une bonne organisation les travaux de normalisation devraient précéder la fabrication quoique la normalisation des objets ne soit possible qu'après une réalisation pratique et même une application éprouvée. Ces deux conditions sans être absolument incompatibles, se rencontrent rarement. Il en résulte que s'il faut parfois imposer des normes, il est nécessaire d'être très prudent pour éviter tout obstacle au développement du progrès et tout ce qui peut être nuisible à notre économie.

En conclusion une amélioration de la production française en pièces détachées pourrait être obtenue grâce à des normes de qualité basées sur les caractéristiques des meilleures pièces mondiales et grâce à des normes dimensionnelles conformes à la logique, à l'ingéniosité et la précision de l'esprit français. Ces normes qui ne devraient pas faire de différence entre les matériels « amateur » et « professionnel » comprendraient des catégories de pièces (le moins possible, 2 ou 3 au maximum) satisfaisant aux différentes catégories d'emploi des matériels, de manière à diminuer les prix de revient, garantir la constance de la qualité, faciliter les stocks et assurer la possibilité des rechanges. Enfin ces normes ne seraient pas immuables mais mises à jour périodiquement pour être adaptées aux progrès de la technique et aux conclusions des exploitants ainsi qu'aux changements des méthodes de fabrication de l'industrie.

L'organisation des entreprises

Le nombre d'entreprises est considéré, avons nous dit, par le groupement professionnel des pièces détachées, comme trop élevé pour le marché actuel et semble être une des causes principales :

1°) de l'insuffisance des moyens industriels à la fois dans les installations à perfectionner et dans les recherches à entreprendre.

2°) de l'insuffisance des matières premières.

3°) du morcellement des commandes qui interdit toute fabrication en série et qui favorise la diversité des modèles.

En même temps que l'organisation propre des entreprises, il faudrait envisager en quelque sorte une réorganisation de la profession par une spécialisation plus poussée et au besoin une sélection des entreprises. Dans une économie normale et saine, cette sélection se fait toute seule par l'élimination ou l'absorption des entreprises les moins bien organisées. Est-ce à dire que les gros doivent manger les petits et qu'il faut favoriser les trusts ? Aucunement ; il y a place dans la profession pour toutes les formes d'entreprises et il est même normal que la majorité de celles-ci soit de moyennes ou petites entreprises. Mais par exemple, au commencement, de l'année 1948, on a recensé au SNIR 15 à 20 % d'artisans parmi les fabricants de pièces détachées. Il conviendrait que ces artisans soient tous spécialisés et que dans leur spécialité, ils construisent surtout les modèles hors série exigeant des soins particuliers, dont le travail est rémunérateur. Il n'est pas souhaitable de voir les entreprises artisanales se lancer dans les fabrications de grande série, en vendant meilleur marché sous le prétexte qu'elles n'ont pas de frais généraux. Ce meilleur marché est obtenu presque toujours en suprimant les essais intermédiaires et même une partie du contrôle final, quand ce n'est pas au détrimant de la matière ou de la technique de fabrication. Car si, au point de vue financier, les frais généraux doivent être adaptés au chiffre d'affaires, au point de vue technique, pour une spécialité donnée, il faut un minimum de frais généraux et par conséquent pour vivre, un minimum de chiffre d'affaires.

Ceci nous conduit à dire que l'organisation générale des usines dépend des spécialités et que la diversité des pièces détachées nous interdit de fixer un plan a priori. On peut cependant affirmer que l'amélioration des fabrications en quantité et en qualité, la diminution des prix de revient et le développement d'une production homogène imposent, pour les multiples opérations auxquelles sont soumis les produits semi-finis et les matières, une conduite en série, à la chaîne, avec des outillages perfectionnés, des machines bien adaptées, des moyens de contrôle et d'essais nombreux. Bien des opérations seront ainsi supprimées, les temps de montage réduits, la précision et l'uniformité de règle partout. L'organisation doit comprendre en outre des laboratoires de recherches et des bureaux d'études appropriés pour guider et diriger tous ces travaux.

Il ne faudrait pas en conclure que la Modernisation comprise de cette façon ne donne droit de cité qu'aux grosses entreprises ou manifeste un caractère antisocial par la suppression de main-d'œuvre.

Toutes les modifications doivent être proportionnées à l'importance des entreprises. Les petites et moyennes entreprises ont en général l'avantage d'être bien spécialisées, l'autorité et le caractère du chef donnent à chaque établissement sa qualification propre. Dans l'ensemble cette situation est favorable, car elle donne une plus grande souplesse d'adaptation aux modifications nécessaires. L'équipement industriel pourrait être amélioré au fur et à mesure de l'accroissement des commandes. Il reste l'insuffisance des moyens d'études et de recherches. Les recherches fondamentales dépendent des laboratoires officiels. Pour les recherches appliquées, la solution semble être dans le groupement des laboratoires privés en un même centre de recherches par type d'industrie. Un effort est fait dans ce sens. Pour aboutir il faut l'appui et le soutien des pouvoirs publics.

Dans le cas des très grosses entreprises, extrêmement rare, c'est plutôt l'esprit d'adaptation qui fait défaut par le manque habituel de spécialisation ou par l'existence de rouages administratifs trop compliqués pour le genre de fabrication.

En ce qui concerne le côté social de la question, l'emploi de machines automatiques et la diminution du nombre des opérations ou des temps de main-d'œuvre, ne veut pas dire que l'on supprime pour autant le travail des hommes. Ce n'est pas le progrès du machinisme qui est à l'origine des crises de chômage, sauf dans quelques cas de révoltes bien compréhensibles mais irréfléchies de la part des tra-

vailleurs. Car on constate que si les machines et la production augmentent constamment dans le monde, le nombre des hommes qui travaillent à cette production croît sans cesse. Et ce ne sont pas les usines américaines remplaçant certains ouvriers par des robots qui diminueront le nombre des travailleurs aux U. S. A.

Le progrès technique qui permet l'augmentation de qualité et de rendement est la cause même de l'accroissement formidable de la production qui n'a jamais assez d'hommes ni de machines. Il modifie les conditions de travail de l'homme et met à sa disposition plus de bien être matériel et plus de produits, au moins dans les œuvres de paix. S'il ne lui procure pas toujours le bonheur, la faute en est à l'usage que l'on en fait et non à son essence même. La suppression ou la diminution des biens matériels ne corrigerait pas efficacement une erreur due uniquement à l'esprit.

L'approvisionnement en matières premières de choix

Il est inutile de rappeler les causes de la pénurie actuelle de matériaux de qualité ni d'insister sur les inconvénients de l'emploi des produits de remplacement qui ont dû être substitués aux matières introuvables. Nous nous bornerons à indiquer les trois principaux moyens à envisager pour améliorer la situation :

1°) l'action auprès des producteurs français de matières premières : il existe en France un assez grand nombre de matériaux qui pourraient être utilisés dans la fabrication des pièces détachées s'ils étaient toujours livrés avec le soin voulu. On constate un manque d'homogénéité dans les fournitures qui est dû quelquefois aux procédés de fabrication ou aux moyens de contrôle mais bien souvent à une certaine négligence, par exemple le logement en fûts malpropres d'un produit parfaitement purifié au préalable.

Il s'agit en général de la part du producteur d'un manque de compréhension des besoins de la clientèle. Avant guerre le fabricant de pièces détachées qui n'obtenait pas en France la régularité désirable dans la précision ou la qualité d'un produit, s'adressait à des fournisseurs étrangers, plus habitués aux tolérances précises, qui lui donnaient satisfaction. Depuis la guerre ce même fabricant, devant les difficultés d'importation, accepte les livraisons et prend les déchets à son compte. Dans tous les cas le producteur ignore l'importance du nouveau marché qui s'offre à lui. Cette ignorance peut être involontaire parce que les spécifications sont mal faites à la commande ou parce que, en l'absence de données précises, les appréciations des clients sont contradictoires. Il arrive fréquemment que par suite des différences dans les procédés de fabrication, une même qualité de produit soit déclarée bonne par les uns et mauvaise par les autres. Cette imprécision dans les caractéristiques conduit les fournisseurs à classer les clients d'après leurs exigences et à considérer que celles-ci sont parfois superflues.

Mais l'ignorance du producteur peut aussi être voulue et se traduire par un désintéressement total pour des tonnages jugés insuffisants et peu rentables. Les études et les procédés d'exploitation sont difficiles et onéreux ; ils intéressent les services techniques mais non les administrateurs qui ne trouvent pas les débouchés convenables.

Pour remédier à cette situation, l'action doit être menée par les Syndicats et consister d'une part à intéresser les producteurs de matières premières en unifiant les types et les qualités par une entente préalable entre consommateurs et par un groupement des commandes, d'autre part à définir des spécifications précises et des conditions de recette acceptées de tous.

Le SNIR a entrepris ce travail et ses commissions s'occupent activement à normaliser les produits. Il est à espérer que les contacts particuliers ou intersyndicaux entre producteurs et consommateurs se multiplieront et porteront bientôt leurs fruits.

2°) La recherche de matières premières dans la métropole et dans l'Union Française — L'Etude de nouveaux produits :

Il est certain que le sol et le sous-sol de pays d'outre-mer (en Afrique du Nord, en Extrême-Orient ou à Madagascar) et même de certaines régions de France, sont insuffisamment exploités et que nous pourrions ainsi trouver un bon nombre de matières premières pour lesquelles nous sommes tributaires de l'étranger. Ce problème très important et très vaste est une affaire de gouvernement et non plus seulement de particuliers ou de syndicats. Un commencement de solution peut d'ailleurs être envisagé pour quelques matières parmi lesquelles le quartz, le mica et différents produits réfractaires.

Des recherches sur de nouveaux produits sont aussi à entreprendre. Par exemple pour améliorer certaines catégories d'isolants et les rendre utilisables à des usages spéciaux en haute fréquence ou dans des conditions climatiques particulières, il faudrait faire des études qui sans être spéculatives ne sont pas immédiatement rentables. Les risques sont grands et les dépenses élevées. D'autre part les industries chimiques de notre pays, comme les industries métallurgiques d'ailleurs, ont déjà à fournir un gros effort pour la reconstruction. Là encore l'action de l'Etat est à envisager. Les laboratoires privés doivent être encouragés et orientés par les commandes ou les marchés des Administrations qui posent les problèmes.

3°) L'Importation des matériaux introuvables en France :

Importer est le seul moyen de se procurer des matières quand les deux premiers moyens envisagés sont impossibles, surtout par suite de la surcharge des industries de base.

Mais c'est précisément au moment où ces deux moyens ne peuvent encore avoir produit leur effet que l'importation est peut être la plus difficile. La France, pillée et ravagée, manque de tout et il faut réglementer et coordonner les importations. On peut dire cependant que les industries radioélectriques sont par excellence des industries importatrices, parce que réclamant peu de matières pour un prix de vente relativement élevé. Les pièces détachées qui exigent une très petite quantité

de matières et par leur qualité peuvent devenir une source importante d'exportation, doivent de ce fait être favorisées. Elle faciliteront la balance commerciale du pays.

Le coût des matériaux spéciaux à importer a été évalué à moins de 3 % de la valeur des pièces détachées, bien que certains fabricants soient tentés dans l'établissement de leur prix de revient d'accroître le poste « matières premières » au détriment du poste « main-d'œuvre », en vue d'obtenir des attributions de matières plus élevées.

Ces quantités à importer, déjà minimes, doivent aller en diminuant dans les années à venir, au fur et à mesure de l'application du plan de Modernisation.

3. — TENDANCES ACTUELLES

Nous savons que les nouveautés en pièces détachées proviennent de la guerre. Ce sont en bref, d'un côté les pièces « tropicalisées » d'un autre côté les pièces « miniature » et les « circuits imprimés ».

Nous allons examiner d'une façon générale, ces pièces que nous retrouverons avec leurs caractéristiques particulières dans la 2e partie.

De nouvelles tendances verront sans doute le jour dans les œuvres de paix, avec les nombreuses applications industrielles et médicales de l'électronique encore peu exploitées, comme le chauffage HF, la commande des moteurs de machines (servo-mécanismes automatiques), les régulateurs, contrôleurs etc ... et avec l'utilisation des hyperfréquences dont les applications pacifiques du radar ne sont qu'un commencement, enfin dans le vaste domaine encore inconnu de l'industrie atomique.

Pièces « Tropicalisées »

Le verbe tropicaliser a été créé et adopté en France pour traduire littéralement le terme américain « tropicalize » qui désigne l'action de protéger les équipements contre l'humidité et les températures élevées, et contre les moisissures ou les insectes rencontrés dans les régions tropicales. C'est en effet sur les théâtres d'opérations d'Extrême-Orient, en particulier en Nouvelle Guinée et dans les îles du Sud-Ouest du Pacifique que les Américains et les Britanniques s'aperçurent que le matériel standard de l'armée ne convenait plus.

Les appareils de campagne devenaient inutilisables après 5 ou 6 heures de service dans la jungle, quand ils ne l'étaient déjà durant le transport. En moyenne 50 % des équipements des Télécommunications étaient hors-d'usage en un mois.

Le général Mac-Arthur demanda alors que tous les équipements fussent tropicalisés avant l'envoi aux armées. La première opération consista à recouvrir toutes les surfaces qui pouvaient être traitées, au moyen d'une laque ou d'un vernis hydrofuge contenant un fongicide pour empêcher le développement des champignons et au besoin un termicide, les termites étant de tous les insectes les plus dangereux. Le résultat fut immédiatement très important, la vie des appareils devient 200 fois plus longue dans les conditions les plus pénibles ; les postes de la jungle purent servir 2 ou 3 mois sans retourner en réparation.

Les équipements tropicalisés furent ensuite utilisés sur tous les fronts et on put constater partout une amélioration du rendement ; les rechanges furent réduits de moitié. C'est que, si aux tropiques on compte environ neuf mois par an d'humidité dangereuse pour le matériel, il y en a en moyenne 3 dans la plupart des autres régions. Mais les vernis ne font que retarder la pénétration de l'humidité et les fongicides presque tous volatils n'ont qu'un effet temporaire ; il fallait recommencer assez souvent le traitement au vernis. Actuellement au lieu de protéger d'une manière aussi éphémère les ensembles, on préfère remplacer dans toutes les parties assemblées et dans les pièces détachées les matériaux anciens par des produits résistant à la fois aux conditions les plus sévères de température et à la corrosion dûe à l'humidité, aux champignons etc ... De plus on étudie de nouveaux matériels et de nouvelles pièces mieux conçus pour supporter les contraintes climatiques ignorées jusqu'ici.

Il ne s'agit plus seulement des conditions tropicales, mais de toutes les climatures, de toutes celles que l'on peut rencontrer même en avion, car en plus des matériels de bord, les rechanges de matériel terrestre sont aussi acheminés par voie aérienne. Et l'expérience de guerre doit s'appliquer à toutes les limites normales du service de temps de paix. Si pour les matériels importants, il faut se limiter généralement aux strictes conditions d'un climat déterminé, à cause des prix et de nombreuses sujétions imposées par des contraintes climatiques diverses, il n'en est pas de même pour les pièces détachées, au moins pour celles qui doivent être remplacées le plus souvent.

La matière première étant relativement minime, on peut employer des matériaux de qualité sans augmentation considérable des prix.

Les règles générales de construction des pièces « tropicalisées » sont d'ailleurs les suivantes :

1°) Renfermer, chaque fois qu'il est possible, les organes dans des boîtiers hermétiquement étanches. C'est la méthode la plus efficace de protection contre l'humidité et les moisissures. Les boîtiers et les sorties pouvant facilement être protégés, les parties internes doivent seulement résister aux conditions extrêmes de température et la possibilité d'emploi d'isolants liquides permet des gammes de température étendues.

2°) Pour toutes les pièces non étanches on étudie une ventilation d'air rationnelle et des profils simples évitant les accumulations de poussières et d'humidité. Les différentes parties sont protégées dans les conditions en rapport avec leur catégorie d'emploi. Les métaux doivent être traités pour résister aux corrosions et au contact entre deux métaux on évite les actions électrolytiques. Les isolants doivent résister aux variations fréquentes de la température, de l'humidité et aux cryptogames. En général on emploie des produits céramiques ou des matières synthétiques dont les surfaces sont améliorées par glaçure ou vernis spéciaux. Les matières plastiques

stratifiées sont à éliminer ainsi, que en principe toutes les substances organiques non protégées.

Parmi les nouveaux matériaux, les composés silicones semblent devoir sous peu s'imposer comme des isolants de qualité à la chaleur, au froid et à l'humidité. Il en existe de nombreuses variétés : on peut utiliser les silicones liquides ou leurs vapeurs, condensés ils donnent des silicones visqueux ou graisses de silicone et polymérisés à chaud des silicones solides. On doit aussi mentionner le Téflon, déjà très employé aux U. S. A. et en Grande Bretagne.

Les essais que l'on fait subir aux pièces « tropicalisées » doivent représenter les conditions les plus sévères, ce sont en général les conditions aéronautiques.

Une série d'essais de type comprend des essais cycliques rapides de température, de + 75° ou + 90° C à — 40° ou même — 60° C, destinés à vérifier la tenue à la chaleur ou au froid avec des variations très rapides (ou moins 2° à la minute). Elle comprend aussi des essais cycliques plus lents, d'une durée de 24 heures chacun, avec des cycles de chaleur sèche (+ 70° C), de chaleur humide (HR 95 % à + 40° ou + 55°C) et de froid (— 40°). Ces essais permettant de vérifier les pièces dans les différentes conditions de service, de transport ou de stockage.

Enfin des essais tropicaux de durée reproduisent les conditions tropicales proprement dites pour étudier la résistance à une humidité prolongée (HR 100 % à + 35° C) et aux cryptogames.

Tous ces essais peuvent être combinés avec des essais mécaniques (vibration ou secousses) ou de dépression (pendant les cycles de froid seulement, jusqu'à 120 mm Hg) ou encore avec des essais spéciaux de résistance aux intempéries : pluie, vent de sable, poussières etc ...

Parmi toutes les conditions d'emploi susceptibles de causer des détériorations les moins bien connues sont encore l'humidité et les cryptogames. C'est pourquoi l'on parle toujours de recherches sur la tropicalisation. Le problème est vaste. Les Américains ont dit que 18 000 espèces de moisissures attaquaient les équipements du Signal Corps. Les études sur les fongicides (d'un emploi difficile à cause de leur toxicité) ou sur les modalités d'attaques fongicides, qui ont fait l'objet de travaux américains ou britanniques n'ont pas encore permis de protéger d'une manière certaine les matières organiques.

En France, le laboratoire de Cryptogamie du Muséum National d'Histoire Naturelle a entrepris une série de travaux systématiques sur lesquels on peut fonder les plus grands espoirs.

Nous considérons que la résistance à l'humidité et aux moisissures est absolument indispensable dans tout matériel électronique sérieux et qu'un très grand nombre de pannes, même dans les récepteurs de radiodiffusion, ont pour origine un séjour trop prolongé d'un appareil inutilisé ou une pièce quelconque dans un local humide. Ce local peut fort bien exister dans une maison habitée, par exemple une pièce non chauffée l'hiver, spécialement à la campagne, au bord de la mer ou d'une rivière.

Le Label des récepteurs radiophoniques a été dernièrement complété, par la Direction des Industries Mécaniques et Electriques, de clauses relatives aux appareils destinés à l'exportation, ceci afin d'augmenter encore le niveau de qualité des appareils français à l'étranger. Il serait à souhaiter que les constructeurs utilisent toujours dans ce cas des pièces « qui ne moisissent pas », bien qu'il ne soit pas question évidemment de faire subir aux appareils, des essais de type comme les essais de moisissures, dont la durée est supérieure à un mois.

Pièces « miniature »

Ici encore nous avons adopté en France le terme employé par les Anglo-saxons, qui signifie : une reproduction en petit. Ces pièces sont en effet caractérisées par leur petitesse. De faibles dimensions et de peu de poids, elles sont nécessaires pour tous les appareils de bord d'aéronefs, d'embarcations, de véhicules. Elles doivent même être réduites au minimum, principalement dans les postes portatifs ou les matériels d'engins télécommandés et il serait peut être préférable pour exprimer cette condition d'employer le verbe minimer autrefois en usage en mécanique.

Il est certain que les pièces les plus petites ont toujours eu la faveur des constructeurs et il est inutile d'insister sur les avantages. Par contre les inconvénients doivent être étudiés d'un peu plus près. Les faibles dimensions imposent des lignes de fuite réduites ce qui oblige également à une réduction de la sécurité ou de la tension d'utilisation. D'autre part l'isolement et surtout les résistances superficielles à l'humidité et aux moisissures sont diminuées. Mais le point particulier sur lequel il convient d'insister est l'échauffement. Pour les mêmes pertes que dans un modèle normal, l'échauffement d'une pièce miniature est plus élevé et on doit en tenir compte. Les pertes, il est vrai, peuvent être diminuées par l'emploi de matériaux de meilleure qualité mais quand la puissance dissipée reste inchangée comme c'est le cas dans les résistances fixes, il est impossible d'éviter un accroissement de température. On peut réduire cette accroissement par une surface de refroidissement mieux adaptée ou plus développée pour un même encombrement total, cependant généralement et spécialement pour les petites résistances inférieures à 1 w. l'échauffement est considérablement augmenté quand il s'agit de pièces miniature.

Le progrès dans la construction des petites pièces consiste à utiliser des matériaux pouvant supporter de grandes contraintes et en particulier des températures plus élevées à condition de bien déterminer les limites admissibles et de toujours se souvenir que plus on se rapproche de la limite, plus la durée de vie de la pièce se raccourcit.

La recherche constante des dimensions réduites avait amené les Allemands, bien avant la guerre, à réaliser des pièces de qualité comme des selfs HF, des condensateurs et des résistances au moyen de céramiques spéciales dont les surfaces étaient en parties métallisées. Ces pièces ont ouvert la voie à toute une industrie, celle des circuits imprimés.

Circuits imprimés

L'application moderne des procédés connus de métallisation de surfaces isolantes a fait son apparition aux Etats-Unis en 1945 avec les « Printed Electronics circuits » qui permettent de construire des ensembles émetteurs-récepteurs de volume extrêmement réduit. Il ne s'agit plus de réaliser des pièces détachées miniature mais des circuits entiers comprenant les condensateurs, les selfs et résistances, et les conducteurs qui relient les différentes parties du circuit, le tout sur un isolant, verre ou une matière plastique, aussi bien que sur une céramique.

Cette véritable révolution suscite un très grand intérêt de la part des constructeurs américains et britaniques. Elle est née de la guerre, puisque sa première application importante a été l'emploi de la radio aux fusées de proximité, mais dans le domaine civil les applications seront au moins aussi nombreuses que dans le domaine militaire. L'étude des possibilités d'emploi de même que celle des procédés de fabrication sortiraient du cadre de cet article. Il suffit de savoir que la technique nouvelle permet d'obtenir :

1°) des circuits électroniques très robustes, de production massive, à des prix de revient très réduits. Par exemple en Grande-Bretagne une machine automatique permet de construire des récepteurs radiophoniques au moyen de panneaux en matière plastique imprimée comprenant les condensateurs fixes, les selfs, les résistances et tous les conducteurs ou connexions. La machine fait également les essais de contrôle ; elle permet dans un petit poste courant de supprimer 80 soudures et 30 assemblages à la main de pièces détachées diverses. Quand on ne cherche pas à tout prix le bon marché et l'encombrement le plus réduit, on peut réaliser des ensembles de très grande qualité sur les plaques de stéatite spéciale où les conducteurs et les selfs sont seuls imprimés et où d'autres pièces miniature sont rajoutées comme les condensateurs et les résistances, ces dernières étant les parties les plus délicates des circuits imprimés.

2°) des ensembles électroniques le plus réduit possible, en imprimant directement les circuits sur les lampes ou tubes électroniques. L'apparition des tubes « subminiature » a permis ainsi des émetteurs de 25 mm de haut et 8 à 10 mm de diamètre avec circuit imprimé sur l'enveloppe de verre et de 35 mm de haut, 15 mm de diamètre avec circuit imprimé sur un cylindre de céramique entourant un tube métal.

Ces nouvelles réalisations intéressent aussi les constructeurs français. En dehors des procédés de métallisation, peut être à améliorer (l'emploi de pochoirs ou d'écrans est encore assez délicat) il convient de signaler les perfectionnements à apporter aux parties annexes des circuits imprimés dont le volume reste relativement trop important. Il faut en effet toujours compléter un circuit imprimé, en plus des tubes, par une source d'énergie (pile etc...) par des appareils d'électro-acoustique, (microphone, écouteur ou haut parleur) et parfois par de fortes capacités comme les condensateurs électrolytiques. Tous ces appareils doivent encore être améliorés dans le type « miniature ».

ETUDE DES RÉFLEXIONS DANS LES LIGNES DE TRANSMISSION EN HYPERFRÉQUENCES

PAR

M. BOUIX

Agrégé de l'Université

Chef de la section « Aériens » de la division « Radar » du C.N.E.T.

Sommaire. — On étudie d'abord les réflexions causées par un, puis par deux obstacles placés, sur une ligne de transmission ; on montre qu'un obstacle continu d'une certaine longueur équivaut à un obstacle continu concentré unique. On étudie ensuite le cas de plusieurs obstacles. Dans la pratique la fréquence n'est connue qu'avec une certaine approximation, et, même dans le cas d'une émission par magnétron, la fréquence peut sauter et se dédoubler sur une certaine bande. Ces différences avec la fréquence nominale produisent des variations de phase des ondes réfléchies sur les obstacles, ce qui produit des variations du taux des ondes stationnaires. On admet que ces variations de phase sont réparties au hasard et on étudiera la probabilité d'une bonne adaptation. On en déduit une méthode pratique de montage des lignes de transmission. En annexe, on donne un aperçu des calculs faits qui seront publiés complètement par ailleurs.

1. — Lorsqu'on réunit un émetteur ou un récepteur à un aérien par une ligne de transmission, des réflexions se produisent aux points où la ligne de transmission présente certaines discontinuités : raccord de deux éléments semblables, passage par un support formant isolant métallique ou par un support diélectrique dans le cas d'une ligne coaxiale, passage par un coude ou passage d'une forme à une autre lorsqu'il s'agit de guide. Ces réflexions produisent dans les diverses sections un certain taux d'onde stationnaire. Une onde stationnaire est formée de deux ondes se propageant en sens inverse. Dans le cas d'une transmission de l'antenne vers le récepteur, l'onde nuisible va être re-rayonnée par l'aérien ; dans le cas d'une transmission de l'émetteur vers l'aérien, l'onde nuisible va pénétrer dans l'émetteur et la composante résistive de l'impédance de cet émetteur va absorber une partie de l'énergie de cette onde ; de plus cette onde nuisible peut réagir sur le fonctionnement de l'émetteur et causer des modifications aussi bien dans la puissance émise que dans la fréquence d'émission.

D'autre part, comme la résistivité de la ligne de transmission n'est pas nulle, des ondes stationnaires importantes dans certaines sections de la ligne de transmission signifieront une augmentation des pertes par effet Joule, qui ne nuiront pas à la stabilité de l'émission, mais qui produiront une perte de puissance et pourront diminuer sensiblement le rendement de l'appareil.

Il est donc indispensable de s'assurer dans la construction d'une ligne de transmission que les réflexions aux points de discontinuité soient réduites au minimum.

Cette précaution est cependant insuffisante comme nous allons le voir. En effet, une ligne de transmission comprend toujours un certain nombre de points de discontinuité, et s'ils sont disposés d'une façon quelconque, un taux d'ondes stationnaires très important peut subsister malgré la faible valeur des coefficients de réflexion.

Nous analyserons d'abord ce qui se passe dans une discontinuité, puis dans deux discontinuités d'une ligne. Nous appliquerons le résultat à plusieurs discontinuités. Nous étudierons accessoirement une section de ligne défectueuse présentant des réflexions en tous ses points.

Ensuite, en nous référant à des résultats étudiés en annexe, nous montrerons que, même avec des coefficients de réflexion très réduits et, en utilisant un matériel bien étudié, nous pouvons en l'absence de précautions particulières, avoir un très mauvais rendement dans la transmission.

Nous négligerons dans tout ce qui suit l'atténuation due aux pertes ohmiques ainsi que celle qui résulte de la transformation par des obstacles de l'onde fondamentale en ondes de modes différents. Nous admettrons donc qu'un obstacle sur le trajet de l'onde utile renvoie comme onde réfléchie une fraction $\rho < 1$ de cette onde utile et transmet la fraction $1 - \rho$ de cette onde. La réflexion peut s'effectuer avec un changement de phase δ ; le coefficient de réflexion complexe qui en tient compte s'écrira $\rho e^{j\theta}$ et le coefficient de transmission $1 - \rho e^{j\theta}$.

2. — Réflexion sur un obstacle unique.

Repérons les points de la ligne de transmission

par leur abcisse x à partir d'une origine o et supposons que l'obstacle soit justement en o. (fig. 1)

L'onde incidente sera de la forme :

$$(a) = A\, e^{2\pi j\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)} \tag{1}$$

(a) représentant par exemple la tension, A est un coefficient, $T = \frac{1}{f}$ est la période, f, la fréquence, λ la longueur d'onde *sur la ligne* (dans le cas d'un guide d'onde, λ sera la longueur d'onde λ_g dans le guide).

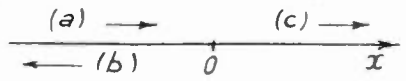


Fig. 1

L'onde réfléchie (b) sera :

$$(b) = \rho\, e^{j\theta} A\, e^{2\pi j\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)} \tag{2}$$

L'onde transmise (c) sera :

$$(c) = (1 - \rho\, e^{j\theta})\, A\, e^{2\pi j\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)} \tag{3}$$

Nous pourrons le plus souvent sans ambiguité sous entendre le facteur $A\, e^{2\pi j \frac{t}{T}}$ et nous écrirons seulement les amplitudes complexes

$$\begin{aligned} a &= e^{2\pi j \frac{x}{\lambda}} \\ b &= \rho\, e^{j\delta}\, e^{2\pi j \frac{x}{\lambda}} \\ c &= (1 - \rho\, e^{j\delta})\, e^{-2\pi j \frac{x}{\lambda}} \end{aligned} \tag{4}$$

L'onde résultant de (a) et (b) sera

$$a + b = e^{-2\pi j \frac{x}{\lambda}} + \rho\, e^{j\theta}\, e^{-2\pi j \frac{x}{\lambda}} \tag{5}$$

Le maximum et le minimum de $|a + b|$ seront respectivement $1 + \rho$ et $1 - \rho$.

Le taux d'ondes stationnaires dans la portion de ligne qui précède l'origine sera donc par définition :

$$N = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \tag{6}$$

Cherchons d'autre part comment varie la phase de la figure d'onde stationnaire en un point situé à l'abcisse $-L$. L'amplitude de l'onde $(a) + (b)$ au point $(-L)$ a pour carré :

$$1 + \rho^2 + 2\rho \cos\left(\frac{4\pi L}{\lambda} - \theta\right)$$

La phase de cette amplitude est donc :

$$\varphi = \frac{4\pi L}{\lambda} - \theta \tag{7}$$

Si la fréquence, donc la longueur d'onde varie, cette phase varie, et on a :

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = -\frac{4\pi L}{\lambda^2} \tag{8}$$

3. — **Réflexion sur deux obstacles.**

Posons d'abord le problème le plus général du comportement de deux obstacles successifs (1) ; nous reviendrons ensuite au cas particulier qui nous intéresse par sa simplicité.

Soient r_1, t_1 les coefficients de réflexion et de transmission sur le premier obstacle (du côté de l'onde incidente) et r_2, t_2 les coefficients de réflexion et de transmission pour le deuxième obstacle placé à une distance L du premier dans la direction des ondes transmises. Soient r, t les coefficients de réflexion et de transmission sur l'ensemble des deux obstacles et $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

La figure 2 met en évidence l'onde incidente $\vec{a}$ à gauche du premier obstacle et l'onde réfléchie $\overleftarrow{ra}$ sur l'ensemble des deux obstacles : si l'on désigne par $\vec{a}$ l'amplitude complexe au niveau du deuxième

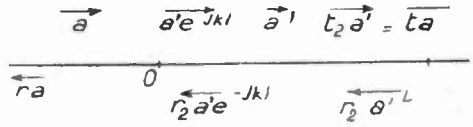


Fig. 2

obstacle de l'onde qui se propage de gauche à droite entre les deux obstacles, cette onde a l'amplitude complexe $\overrightarrow{a'\, e^{jkL}}$ au niveau du premier obstacle. Elle donne d'autre part naissance à l'onde transmise $\overrightarrow{t_2 a} = \vec{ta}$ et à l'onde réfléchie $\overrightarrow{r_2 a'}$ au niveau du deuxième obstacle ; et cette dernière onde a l'amplitude complexe $\overleftarrow{r_2\, a'\, e^{-jkL}}$ au niveau du premier obstacle.

En mettant en évidence les coefficients r_1 et t_1 sur le premier obstacle pour les ondes $\vec{a}$ et $\vec{\alpha}$ qui le frappent de part et d'autre, on aura (fig. 3)

$$\begin{aligned} t_1 a + r_1 \alpha &= a'\, e^{jkL} \\ \alpha &= r_2 a'\, e^{-jkL} \end{aligned} \qquad r_1 a + t_1 \alpha = ra$$

Eliminant α et a' entre ces trois relations, on trouve aisément

$$r = r_1 + \frac{r_2 t_1^2\, e^{-2jkL}}{1 - r_1 r_2\, e^{-2jkL}}. \tag{9}$$

Tenant compte de la valeur trouvée pour a', et de ce que $t_2 a' = ta$, on a facilement :

$$t = t_2 \frac{a'}{a} = \frac{t_2 t_1\, e^{-jkL}}{1 - r_1 r_2\, e^{-2jkL}} \tag{10}$$

Supposons maintenant que

$$r_1 = r_2 = \rho\, e^{j\theta} \qquad t_1 = t_2 = 1 - \rho\, e^{j\theta}$$

et que ρ soit petit par rapport à L, de façon qu'on puisse négliger les termes en ρ^2. La formule (9) de-

(1) Ce calcul nous à été communiqué par M. G. Goudet.

vient (11)

$$r = \rho\, e^{j\theta}\,(1 + e^{-2jkL}) = 2\,\rho\cos(kL)\,e^{j(\theta - kL)}$$

Le taux d'ondes stationnaires à gauche du premier obstacle est alors

$$N = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} = \frac{1 + 2\rho\,|\cos kL|}{1 - 2\rho\,|\cos kL|}.$$

Dans l'hypothèse où ρ est petit (inférieur à 1/10

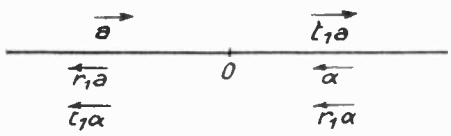


Fig. 3

pour fixer les idées), on peut écrire approximativement :

$$N = 1 + 4\,\rho\,|\cos kL|. \qquad (11\text{ bis})$$

La borne supérieure de N_{max} est $1 + 4\,\rho\,|\cos kL|$

Désignant par $n = \dfrac{1+\rho}{1-\rho}$ le taux d'onde stationnaire donné par un obstacle unique de coefficient de réflexion $\rho\, e^{j\theta}$, on peut tirer :

$$\rho = \frac{n - 1}{n + 1}$$

et par suite :

$$N_{max} = \frac{3n - 3}{n + 1}$$

Admettons que les formules soient valables quand ρ varie de 0 à 0,1 ; n varie alors de 1 à 11/9 = 1,22 ; N_{max} varie de 1 à 1,4. (fig. 3 bis).

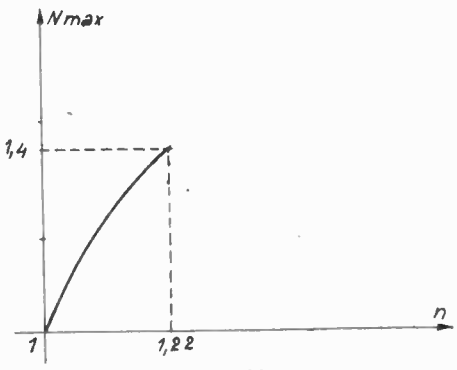


Fig. 3 bis

4. — Sensibilité en fréquence en fonction du taux d'onde stationnaire.

Supposons que la ligne de transmission soit réalisée pour fonctionner entre deux longueurs d'ondes λ_1 et λ_2, et qu'elle comporte les deux obstacles distants de L. Le taux d'onde stationnaire à gauche de *o*, va dépendre du facteur cos *k*L, et par suite de la longueur d'onde λ. (fig. 4)

Le cas le plus défavorable se produira, quand la bande de fréquence admise contient des longueurs d'onde λ_1 et λ_2 correspondant à un maximum et à un minimum consécutifs possibles du taux d'ondes stationnaires.

Les phases des exposants $2\pi\dfrac{L}{\lambda_1}$ et $2\pi\dfrac{L}{\lambda_2}$ diffèrent alors de $\pi/2$, et on a

$$4\,L\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) = 1$$

ou

$$\frac{\lambda_1\,\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} = 4\,L \qquad (12)$$

Posons $\lambda_1 - \lambda_2 = \Delta\lambda$ et supposons que λ_1 et λ_2 soient voisins d'une valeur moyenne λ. La relation (12) s'écrira alors

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{4L} = \frac{c^2}{4Lf^2} \qquad (13)$$

En supposant que λ_1 et λ_2 sont les extrémités de la bande des fréquences admises, on voit que la largeur de bande est inversement proportionnelle au carré de la fréquence, et à la distance L.

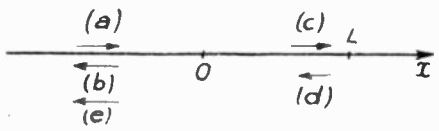


Fig. 4

5. — Réflexions sur une portion continue de la ligne.

Supposons maintenant qu'une certaine portion de la ligne soit défectueuse (section de guide mal polie,

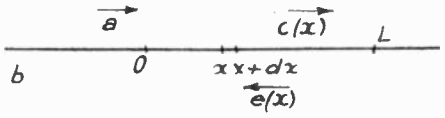


Fig. 5

ou support isolant de grande longueur), de façon que chaque section infinitésimale *dx* de la section de ligne de longueur L introduise une réflexion de coefficient, $\rho\, e^{j\theta}\, dX$, son coefficient de transmission étant $(1 - \rho\, e^{j\theta}\, dX)$ (fig. 5). Nous négligeons toujours les pertes ohmiques et de changements de modes.

Nous avons donc (figure 6) en désignant par $\vec{a}$ l'onde incidente, $\vec{ca}$ l'onde transmise à travers l'obstacle, $\overleftarrow{ea}$ l'onde réfléchie vers la gauche à travers l'obs-

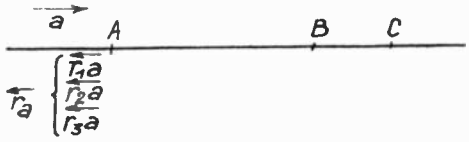


Fig. 6

tacle, $\vec{b}$ l'onde réfléchie vers la gauche par l'ensemble de l'obstacle.

(14)

$$c(X+dX) = c(X)[1-\rho e^{j\theta}\,dX] + e(X+dX)\,\rho\,e^{j\theta}\,dX$$

$$e(X) = e(X+dX)\,[1-\rho\,e^{j\theta}\,dX] + c(X)\,\rho\,e^{j\theta}\,dX$$

ou

$$\frac{c(X+dX)-c(X)}{dX} = \rho\,e^{j\theta}\,[e(X+dX)-c(X)]$$

$$\frac{e(X+dX)-e(X)}{dX} = \rho\,e^{j\theta}\,[e(X+dX)-c(X)]$$

A la limite, quand dX tend vers zéro, on aura:

$$\frac{dc}{dX} = \rho\,e^{j\theta}\,[e-c]$$

$$\frac{de}{dX} = \rho\,e^{j\theta}\,[e-c]$$

Retranchant membre à membre, il vient :

$$\frac{d(c-e)}{dX} = 0$$

On a donc $c - e = K$ (K indépendant de X). On trouve aisément en tenant compte des conditions aux limites :

$$c = \frac{1+(L-X)\,\rho\,e^{j\theta}}{1+L\,\rho\,e^{j\theta}}$$

$$e = \frac{(L-X)\,\rho\,e^{j\theta}}{1+L\,\rho\,e^{j\theta}}$$

A gauche de l'obstacle, l'onde réfléchie prend donc la valeur :

$$\frac{L\,\rho\,e^{j\theta}}{1+L\,\rho\,e^{j\theta}}\cdot e^{2\pi j\frac{r}{\lambda}} \qquad (15)$$

obtenue en faisant $X = 0$ dans e pour déterminer sa valeur sur l'origine de l'obstacle et en multipliant par le facteur de propagation $e^{2\pi j\frac{r}{\lambda}}$.

Le taux d'onde stationnaire à gauche de l'obstacle est alors :

$$N = \frac{1+\left|\frac{L\,\rho}{1+L\,\rho\,e^{j\theta}}\right|}{1-\left|\frac{L\,\rho}{1+L\,\rho\,e^{j}}\right|} \qquad (16)$$

Il ne dépend que de ρL et θ, et non pas de la fréquence. L'obstacle se comporte donc comme un obstacle concentré à la position de son origine.

6. — Cas de plusieurs obstacles.

Nous ferons le raisonnement sur trois obstacles pour plus de clarté, mais le raisonnement est identique lorsqu'il s'agit de plus de trois obstacles (figure 6).

Considérons d'abord l'obstacle A supposé seul : il produit une onde réfléchie $\overleftarrow{r_1 a}$. Introduisons ensuite l'obstacle B. L'ensemble de deux obstacles A et B produit une ondes réfléchie $\overleftarrow{r' a}$, en écrivant

$$\overleftarrow{r_2 a} = \overleftarrow{r' a} - \overleftarrow{r_1 a},$$

on peut dire que l'introduction de l'obstacle B superposé à l'onde réfléchie par l'obstacle A, soit $\overleftarrow{r_1 a}$, l'onde réfléchie $\overleftarrow{r_2 a}$.

Introduisons ensuite l'obstacle C ; l'ensemble des obstacles A, B, C produit une onde réfléchie $\overleftarrow{ra}$. En posant

$$\overleftarrow{r_3 a} = \overleftarrow{ra} - \overleftarrow{r' a},$$

on peut dire que l'obstacle C superpose l'onde $\overleftarrow{r_3 a}$ aux ondes réfléchies préexistantes.

Les coefficients de réflexions sur les obstacles A, B, C étant donnés deux cas extrêmes peuvent se présenter :

1°) Les ondes sont en phase. Le taux d'ondes stationnaires à gauche de A est le plus fort possible et nous sommes dans le cas le plus mauvais pour la transmission de la puissance.

2°) Deux des ondes $\overleftarrow{r_1 a}$, $\overleftarrow{r_2 a}$, $\overleftarrow{r_3 a}$ sont en opposition de phase avec la troisième de façon que leur somme soit la plus petite possible. Nous sommes dans les meilleures conditions possibles de transmission. Il est possible, dans certains cas, de déterminer les coefficients de réflexion pour que cette somme soit nulle. L'ensemble des trois obstacles constitue une adaptation parfaite. Mais si les coefficients de réflexion sont fixés, la nullité ne se produit en général pas.

La ligne de transmission doit pratiquement toujours pouvoir transmettre une certaine bande fréquence : lorsque la fréquence varie dans cette bande, on peut passer très rapidement d'une adaptation très bonne voisine du cas (2°) à une adaptation très mauvaise voisine du cas (1°). Comme pratiquement la fréquence des émetteurs a toujours une certaine instabilité, si faible soit-elle, la présence obligatoire de joints, coudes ou autres accidents sur la ligne de transmissions fera que, malgré tout, le soin que nous aurons apporté à la réduction des coefficient de réflexion des obstacles pris individuellement, nous ne seront pas assurés d'une bonne transmission.

Nous ne ferons pas de calcul pour rechercher, comme dans le cas de deux obstacles, une borne supérieure et une borne inférieure du taux d'ondes stationnaires, mais nous admettrons comme évident que l'introduction d'un obstacle supplémentaire augmente sûrement la borne supérieure, puisque nous introduisons une onde réfléchie supplémentaire qui peut diminuer la borne inférieure si l'onde réfléchie supplémentaire à une amplitude inférieure à celle de cette résultante des ondes préexistantes. Mais dans le cas contraire, la borne inférieure sera augmentée.

7. — Etude des obstacles vus sous l'angle de la théorie des probabilités.

Nous avons mis le coefficient de réflexion d'un obstacle sous la forme $\rho\,e^{j\theta}$. Les obstacles, une

fois construits pratiquement, donneront à ρ une valeur sensiblement constante, mais θ pourra avoir des valeurs très variables : ainsi un joint pourra être plus ou moins serré ou plus ou moins centré et l'on ne pourra savoir à l'avance quelle sera la valeur de θ . D'autre part, même sur une faible bande de fréquences, les facteurs en $e^{jk\pi \frac{L}{\lambda}}$ donnent suivant les valeurs de λ de très fortes variations de phase. Comme les réflexions sont multiples, il en résultera que les ondes progressives entrant dans la composition d'une onde stationnaire pourront avoir des phases très différentes, échappant à notre investigation. Nous supposerons que ces phases sont distribuées au hasard avec une distribution uniforme de probabilités pour toutes les phases. Nous allons étudier l'influence de cette distribution aléatoire des phases sur le taux des ondes stationnaires dans quelques cas.

1°) *Obstacle unique.* — Le taux d'ondes stationnaires est $N = \frac{1+\rho}{1-\rho}$ nombre indépendant de θ. La figure des ondes stationnaires aura donc une position qui dépend de θ, mais N en est indépendant.

2°) *Cas de plusieurs obstacles.* — Pour avoir une idée de ce qui se passe, nous supposerons que ρ est le même pour tous les obstacles et qu'il est assez petit pour que nous puissions négliger les puissances de ρ supérieures à la première.

Dans la formule (11) du cas de deux obstacles

$$b = ra = 2\rho\, e^{j\theta} \cos kL\, e^{-jkL}\, e^{2\pi j \frac{r}{\lambda}}$$

la phase $\theta - 2\pi \frac{L}{\lambda}$ dépend d'une façon inconnue de la fréquence et de l'ajustement mécanique de la ligne; nous la considérerons comme variable aléatoire. Désignons désormais par $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \ldots, \eta_n$ les ondes à gauche du premier obstacle qui proviennent des réflexions sur les obstacles successifs numérotés 1, 2, 3, ... *n*. Et désignons par $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots \alpha_n$ la phase aléatoire de chacune de ces ondes : on aura, en prenant pour unité l'onde incidente (*a*) :

$$\begin{aligned} \eta_1 &= b = \rho\, e^{j\theta_1}\, e^{2\pi j \frac{r}{\lambda}} = \rho\, e^{j\alpha_1}\, e^{2\pi j \frac{r}{\lambda}} \\ \eta_2 &= \rho\, e^{j\alpha_2}\, e^{2\pi j \frac{r}{\lambda}} \\ \eta_n &= \rho\, e^{j\alpha_n}\, e^{2\pi j \frac{r}{\lambda}} ; \end{aligned} \qquad (17)$$

les formules (17) négligent les puissances de ρ supérieures à la première.

Le calcul fait en annexe permettra de voir que $\alpha_1 = \theta_1$ n'intervient pas dans l'étude des lois de probabilités : cela répond par avance à l'objection que θ_1 ne prend pas toutes les valeurs possibles.

L'onde complète à gauche du premier obstacle sera :

$$\begin{aligned} &(a) + (\eta_1) + (\eta_2) + \ldots + (\eta_n) \\ &= A \left[e^{-2\pi j \frac{r}{\lambda}} + \rho \sum_{p=1}^{p=n} e^{j\alpha_p}\, e^{2\pi j \frac{r}{\lambda}} \right] \end{aligned}$$

Le taux d'ondes stationnaires est donc : (18)

$$N = \left[1 + \rho \left| \sum_{p=1}^{p=n} e^{j\alpha_p} \right| \right] : \left[1 - \rho \left| \sum_{p=1}^{p=n} e^{j\alpha_p} \right| \right]$$

Cette formule n'est valable que si le produit

$$\rho \left| \sum_{p=1}^{p=n} e^{j\alpha_p} \right|$$

est petit et en tout cas inférieur à 1. Dans les lignes de transmissions, on n'a pas de difficulté, en général, pour rendre ρ petit pour chaque obstacle : mais le problème technique est de rendre $\left| \sum_{p=1}^{n} e^{j\alpha_p} \right|$ assez petit pour que le taux d'ondes stationnaires ne dépasse pas une certaine valeur.

Posons :

$$r_n = \left| \sum_{p=1}^{p=n} e^{j\alpha_p} \right|$$

L'étude des lois de probabilités des nombres r_n, donnée en annexe, nous donne la figure 7 où sont dessinées les premières courbes $y_n = Q_n(x)$

La fonction $Q_n(x)$ représente la probabilité pour que $r_n < x$.

Dans l'hypothèse où $\rho\, r_n$ est petit devant l'unité nous pouvons écrire :

$$N = 1 + 2\rho\, r_n \qquad (19)$$

ou $$N - 1 = 2\rho\, r_n. \qquad (19)$$

La probabilité pour que N soit inférieur à $1 + \varepsilon$, c'est la probabilité pour que N — 1 soit inférieur à ε ; c'est donc $Q_n\left(\frac{\varepsilon}{2\rho}\right)$.

On voit sur la figure 7, que si n est important, même pour des valeurs petites de ρ , c'est-à-dire pour des valeurs relativement grandes de $\varepsilon/2\rho$,

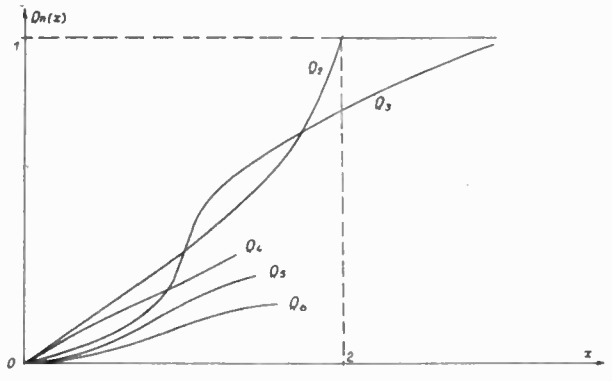


Fig. 7

on peut avoir une probabilité assez faible pour que le taux d'ondes stationnaires soit acceptable et par suite, on a peu de chances d'avoir une bonne adaptation si l'on ne prend pas de précautions particulières.

8. — **Conséquences.**

Nous avons fait le calcul indiqué en annexe à la lecture de l'article de M. L. W. Brown « Problems and Practice in the Production of Wave Guide Transmission Systems », paru dans le *Journal of the Institution of Electrical Engineers* Vol. 93 Part III A, N° 4, page 639 de l'année 1948. Au paragraphe (4) M. L. W. Brown introduit une loi de probabilité de Gauss à une phase χ.

Les conclusions de M. L. W. Brown restant vraies, et même se trouvent renforcées par l'étude faite en annexe. Il est d'autre part remarquable que le cas de trois obstacles présente la particularité d'« accumuler » les chances autour de la valeur $r_3 = 1$, alors que le cas de deux obstacles les accumule au voisinage de $r_2 = 2$.

De toute façon, une ligne de transmission ne contenant que des obstacles à faible coefficient de réflexion peut avoir un très mauvais rendement si le nombre des obstacles (coudes, supports isolants

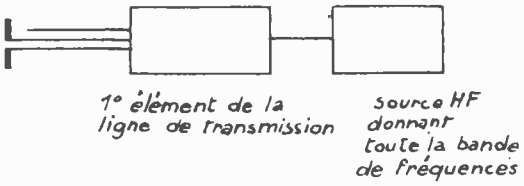


Fig. 8

au quart d'ondes, joints etc ...) est assez élevé et si on ne prend pas le soin de faire l'adaptation systématiquement de la façon suivante, en mesurant chaque fois le taux d'onde stationnaire sur toute la bande de fréquence et en s'assurant que le maximum a une valeur acceptable.

3°) On place le troisième élément et ainsi de suite.

4°) Lorsque le dernier élément de la ligne a été adapté, il faut s'assurer que l'impédance que présente cette ligne en regardant vers l'antenne est égale à l'impédance de sortie de l'émetteur avec laquelle cette ligne doit fonctionner. On place pour cela la ligne de mesure entre l'émetteur et la dernière portion de ligne pour faire l'adaptation. La seule incertitude qui pourra régner ensuite, sera celle du joint entre la dernière portion de ligne et l'émetteur : il devra donc être particulièrement étudié. Nous suppo-

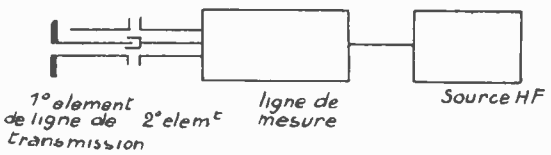


Fig. 9

sons que les éléments de la ligne de transmission ont été étudiés à l'avance : il se peut, cependant qu'à une certaine opération il soit impossible d'obtenir un taux d'ondes stationnaires acceptables pour toute la bande : il convient alors de remplacer l'élément en question par un autre du même modèle, qui,

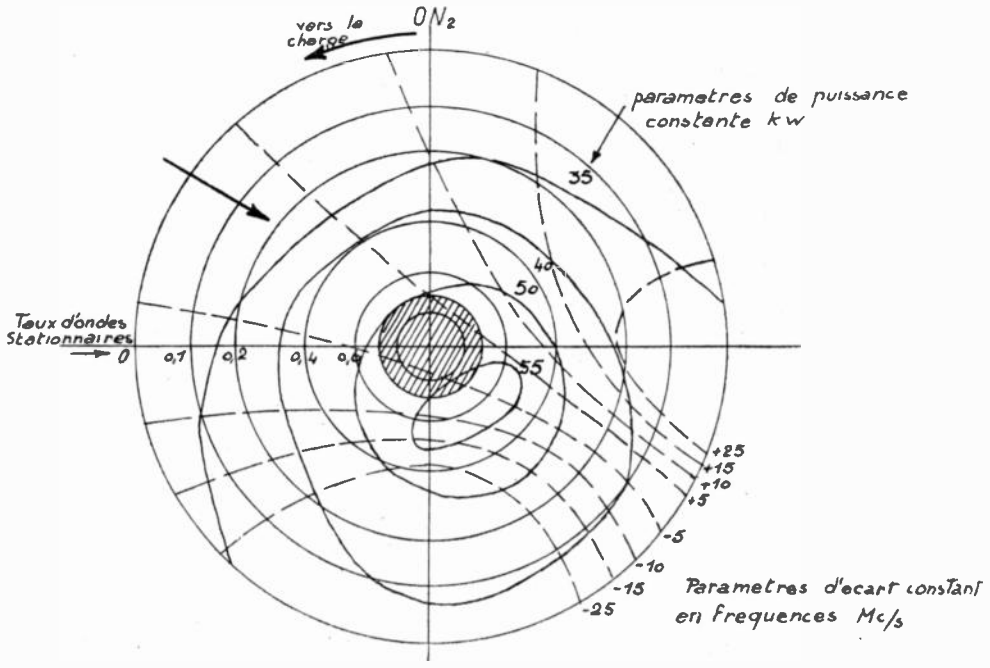


Fig. 10

1°) On adapte l'élément de ligne qui arrive directement sur l'aérien émetteur en plaçant la ligne de mesures entre l'extrémité libre de la ligne et une source haute fréquence donnant toute la bande de fréquence de fonctionnement (figure 8).

2°) On place l'élément suivant de ligne de transmission entre l'extrémité libre du premier élément et la ligne de mesure. On adapte ainsi l'ensemble de l'antenne, des deux éléments de ligne de transmission et du joint (fig. 9).

à cause des différences inévitables de fabrication présentera de petites différences au point de vue électrique, ce qui pourra suffire pour donner à l'un des angles aléatoires α_n du paragraphe 7 (2°) une valeur convenable. Il est possible qu'on n'arrive à un résultat qu'après l'essai de plusieurs échantillons.

La question se complique encore lorsque l'émetteur est un magnétron : en effet, suivant la charge que lui applique sa ligne de transmission, son fonctionne-

ment peut manquer de stabilité, donner des sauts et des dédoublements de fréquence. Il faut donc régler l'impédance que présentera la ligne au magnétron d'après le diagramme de Rieke (Figure 10) de ce tube, et non pas sur la puissance maximum, car le point de puissance maximum est en général dans la zone d'instabilité : on aura alors une puissance légèrement inférieure au maximum, mais la fréquence et le fonctionnement resteront stables. La figure 10 est empruntée à l'article de M. W. L. Brown Cité en référence.

Les précautions indiquées ci-dessus sont fondamentales.

Nous avons eu l'occasion de constater sur un prototype de radar fait de bons éléments un rendement médiocre qui n'a pu avoir son explication que par un mauvais rendement de sa ligne de transmission.

M. W. L. Brown dans son article très documenté cité plus haut indique comment cette méthode a été appliquée à la construction industrielle des lignes de transmission et met d'une façon très nette, en évidence, l'amélioration obtenue pour le rendement de ces lignes sur leur bande de fréquence d'utilisation.

ANNEXE

Loi de probabilité du module de

$$e^{j\alpha_1} + e^{j\alpha_2} + \ldots + e^{j\alpha n}$$

les variables aléatoires $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ étant indépendantes et leur densité de probabilité constante.

1) Le problème auquel nous a conduit l'étude de certains obstacles placés sur une ligne de transmission en ondes ultracourtes peut s'énoncer de la façon suivante :

Etant donné n segments de longueur unité dont on forme une ligne polygonale OM_1, M_1M_2, ... , $M_{n-1}M_n$ d'origine O, quelle est la probabilité pour

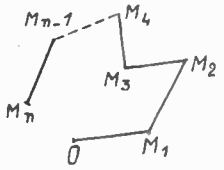


Fig. 1

que son extrémité M_n soit à une distance de O inférieure à une longueur donnée ε (Fig. 1).

Le calcul complet des lois de probabilité de

$$(1)\quad OM_n = r_n = \left| e^{j\alpha_1} + e^{j\alpha_2} + \ldots + e^{j\alpha_n} \right|$$

lorsque les variables aléatoires $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ sont indépendantes et que leur densité de probabilité est uniforme, a été rédigé indépendamment de cet annexe et sera publié séparément par la suite. Nous donnerons ici seulement les grandes lignes et les résultats intéressants.

2) Désignant par $P_n(x)\,dx$ la probabilité pour que r_n soit compris entre x et $x + dx$, on trouve aisément les densités de probabilité P_1 et P_2.

$$(2)\quad P_1 = 0 \text{ pour } x \neq 1 \qquad P_1 = \infty \text{ pour } x = 1$$

avec la condition $\int_0^\infty P_1(x)\,dx = 1$

$$(3)\quad P_2(x) = \frac{2}{\pi\sqrt{4 - x^2}} \text{ pour } 0 \leqslant x \leqslant 2$$

$$P_2(x) = 0 \qquad \text{pour } x > 2$$

3) Pour passer de la fonction $P_{n-1}(x)$ à la fonction $P_n(x)$ on introduit une fonction $P(x|u)$ comme il est indiqué ci-dessous.

Supposons M_{n-1} fixé, la variable α_n étant seule aléatoire et cherchons la loi de probabilité liée de r_n (Fig. 2).

En élevant l'égalité vectorielle suivante au carré

$$\overrightarrow{OM_n} = \overrightarrow{OM_{n-1}} + \overrightarrow{M_{n-1}M_n}$$

et en posant

$$(\overrightarrow{OM_{n-1}}, \overrightarrow{M_{n-1}M_n}) = \theta$$

on a $(4)\quad r_n^2 = r_{n-1}^2 + 2r_{n-1}\cos\theta + 1.$

En différentiant, r_{n-1} étant considéré comme fixe, il vient

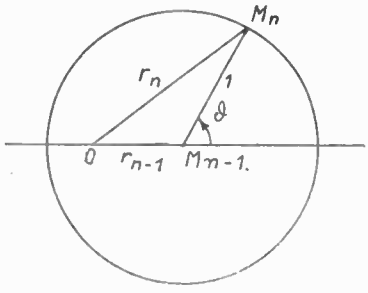


Fig. 2

$$(5)\qquad r_n\,dr_n = -r_{n-1}\sin\theta\,d\theta.$$

Tenant nompte du fait que deux valeurs opposées de θ donnent la même valeur de r_n et que θ a la même loi de probabilité que α_n, on voit que la probabilité pour que r_n soit compris entre x et $x + dx$ est, en posant $r_{n-1} = u$:

$$P(x|u)\,du = \frac{d\theta}{\pi} = \frac{1}{\pi}\,\frac{x\,dx}{u\sin\theta}$$

D'où $$P(x|u) = \frac{2}{\pi}\,\frac{x}{u\sqrt{-[x^2-(1-u)^2][x^2-(1+u)^2]}}$$

Cette expression de P $(x|u)$ n'est valable que si les conditions géométriques d'existence de M_n sont réunies. On trouve aisément la définition complète de P $(x|u)$ qui est donnés dans le tableau suivant.

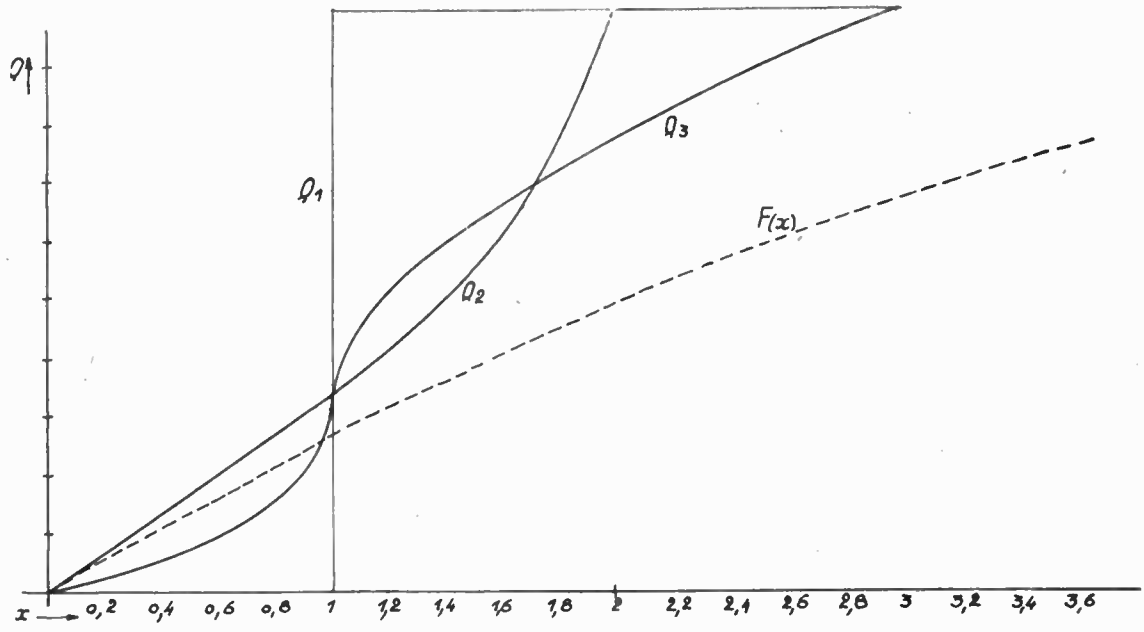


Fig. 3

1°) $u < 1$

$$P(x|u) = \frac{2}{\pi} \frac{x}{\sqrt{-[x^2-(1-u)^2][x^2-(1+u)^2]}}$$

pour $1-u \leqslant x < 1+u$

$$P(x|u) = 0 \text{ pour } x < 1-u$$

et $x > 1+u$

2°) $u > 1$

$$P(x|u) = 0 \text{ pour } x < u-1$$

et $x > u+1$

$$P(x|u) = \frac{2}{\pi} \frac{x}{\sqrt{-[x^2-(1-u)^2][x^2-(1+u^2)]}}$$

pour $u-1 < x < u+1$

(3°) $u = 1$

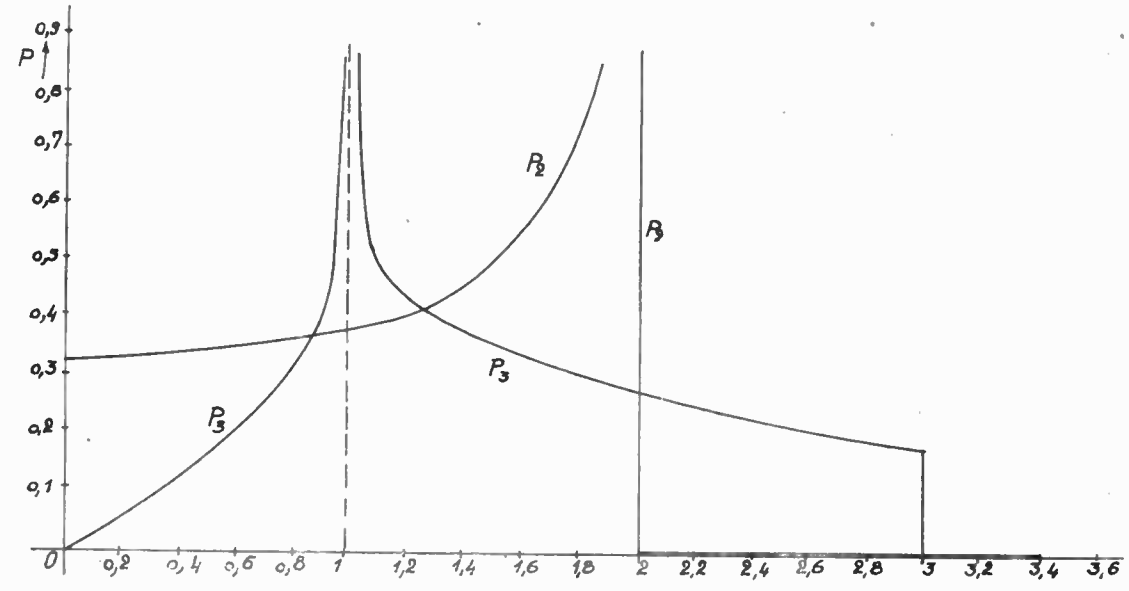


Fig. 4

$$P(x|1) = 0 \text{ pour } x > 2$$

$$P(x|1) = \frac{2}{\pi\sqrt{4-x^2}} \text{ pour } 0 \leqslant x \leqslant 2$$

4) En appliquant le théorème des probabilités composées, on établit sans difficulté la formule de récurrence

$$P_n(x) = \int_0^\infty P_{n-1}(u)\, P(x|u)\, du$$

On voit aisément par géométrie ou par récurrence sur la formule (7) que l'intervalle $(0, \infty)$ d'intégration, se réduit beaucoup à cause des intervalles restreints où $P_{n-1}(u)$ ou $P(x|u)$ sont différents de zéro. La fonction $P_n(x)$ n'est différente de zéro que sur l'intervalle (O, n).

5) La figure 3 montre l'allure des premières courbes représentatives des fonctions $P_2(x)$, $P_3(x)$, $P_4(x)$. Les particularités à remarquer sont le fait que $P_2(1) = \infty$ et d'autre part que la pente de la tangente à l'origine est $P'_n(o) = P_{n-1}(1)$

Ces premières courbes nous ont été données par des calculs numériques assez laborieux.

6) Posons $\quad Q_n(x) = \int_0^x P_n(x)\, dx$

La quantité $Q_n(x)$ représente la probabilité pour que r_n soit inférieur à x. La figure 4 donne l'allure des premières courbes $Q_n(x)$ déduites des courbes $P_n(x)$.

Le fait que pour les petites valeurs de x ($x < 1$ pour fixer les idées) la disposition relative n'apparait pas nettement sur les courbes provient de ce qu'on n'a guère dépassé le stade de $P_3(x)$ (fonction qui présente une valeur infinie).

On a construit aussi sur le même graphique on trait interrompu la courbe

$$F(x) = \sqrt{\frac{2}{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

représentant de loi de Gauss, loi limite de $P_n(x)$.

Nous nous proposons de préciser ces particularités par la suite.

LA CORRESPONDANCE ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES STATIQUES ET LES PARAMÈTRES DYNAMIQUES DES ORGANES ÉLECTRIQUES A RÉSISTANCE NÉGATIVE

PAR

GEORGES CARTIANU

Chargé de Conférences à l'Ecole Polytechnique de Bucarest
(Cours d'appareils et installations radioélectriques)

Dans cet article on fait premièrement une récapitulation des résultats concernant les déterminations expérimentales des paramètres dynamiques des organes électriques à résistances négatives, d'où on tire une règle sur la correspondance entre ces paramètres et le type de la caractéristique statique.

On démontre après théoriquement, dans quelques cas particuliers, que les correspondances trouvées expérimentalement, résultent nécessairement de considérations physiques. Ainsi, à un organe électrique à résistance négative, avec une certaine caractéristique statique, ne peuvent correspondre que certains paramètres dynamiques et par conséquence certaines conditions de stabilité de courant continu.

Les organes électriques peuvent présenter une caractéristique statique $v = f(i)$ avec une ou plusieurs branches à résistance négative qui s'étend seulement sur une région finie de variation des courants et des tensions.

On distingue deux classes d'organes électriques à caractéristique descendante d'après la forme de la courbe statique. [1, 2].

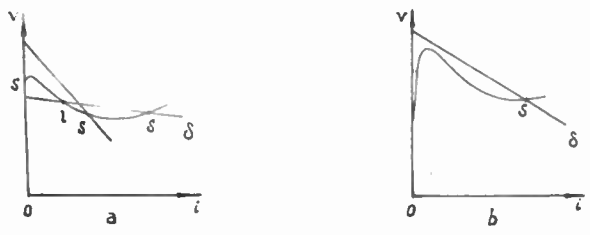


Fig. 1
Les caractéristiques statiques des organes électriques du type « à arc ».

Dans la première classe se trouvent les organes électriques dont la résistance différentielle passe des valeurs positives aux valeurs négatives par zéro $\frac{dv}{di} = 0$; ce sont les organes électriques du type des lampes à arc (Fig. 1a).

Dans la deuxième classe se trouvent les organes électriques dont la résistance différentielle passe des valeurs positives aux valeurs négatives par l'infini $\frac{dv}{di} = \infty$; ce sont les organes électriques du type dynatron (Fig. 2 a).

On a réalisé des organes électriques constitués de deux lampes électroniques, ayant les caractéristiques des organes électriques de la première ou de la deuxième classe. Steimel [3] a réalisé ainsi, des organes électriques à deux lampes triodes, dans un montage à réaction positive de courant, ayant les caractéristiques statiques du type de la première classe (fig. 1 b) et d'autres à réaction positive de tension ayant les caractéristiques statiques du type de la deuxième classe (fig. 2 b).

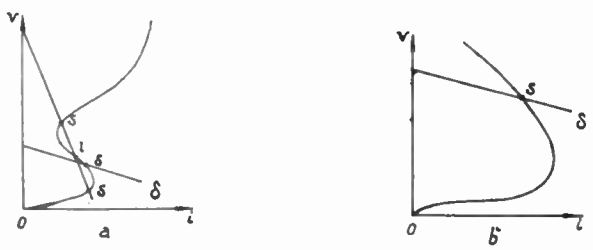


Fig. 2
Les caractéristiques statiques des organes électriques du type « dynatron »

Il y a aussi des organes électriques dont les caractéristiques statiques présentent en même temps des résistances différentielles de valeur zéro et infinies, par exemple les lampes à décharge dans les gaz trouvées par F. M. Penning [4], dont les caractéristiques présentent deux branches à résistances négatives. (fig. 3).

L'expérience a démontré que les organes électriques de classes différentes, se comportent d'une manière différente en ce qui concerne l'établissement d'un certain état stationnaire dans la région des résistances négatives. On a constaté que lorsqu'on appli-

que une tension continue E par une résistance R, à un organe électrique de la première classe, l'établissement de l'état stationnaire, qu'on ne peut trouver qu'à l'intersection de la droite de charge δ avec la caractéristique statique (fig. 1 a), n'est possible que si l'inégalité suivante est satisfaite, dans le point d'intersection :

$$-\frac{dv}{di} < R$$

C'est la condition de stabilité.

La condition de labilité est donnée par l'inégalité.

$$-\frac{dv}{di} > R$$

C'est le criterium de stabilité de Kaufmann [5].

Pour les organes électriques de la deuxième classe, les conditions de stabilité et de labilité constatées sont inverses.

Tous les organes électriques d'une certaine classe ont un criterium commun de stabilité. On doit mentionner que cette observation est de nature expérimentale.

Pour la lampe à décharge dans les gaz de F.M. Penning, sur la portion descendante d, la condition de stabilité est celle des organes électriques de la deuxième classe $-\frac{dv}{di} > R$, sur la portion positive b on ne peut obtenir aucun point stable avec une résistance positive de stabilisation ; sur la portion a on peut obtenir des points stables avec une résistance quelconque de stabilisation et sur la portion descendante c la condition de stabilité est celle des organes électriques de la première classe $-\frac{dv}{di} < R$.

Les manières différentes de se comporter des organes électriques des deux classes ont été expliquées par Barkhausen [6] en attribuant aux organes électriques de la première classe, une inductance en série et à celles de la deuxième classe, une capacité en parallèle avec leur résistance négative.

Une droite de charge R, rencontre en général la caractéristique statique en plusieurs points et quoique la tension et le courant en ces points satisfont les relations de courant continu, ces points ne représentent pas tous, des états stables.

Pour trouver les conditions de stabilité d'un circuit électrique on déduit, de l'équation différentielle du circuit, l'expression du courant ou de la tension transitoire produite par une perturbation quelconque. Si le courant s'amortit, le système est stable, si le courant croît indéfiniment, le système est instable. Dans le cas d'un circuit électrique, avec un organe électrique à résistance négative et avec un seul accumulateur d'énergie électromagnétique, le système est stable quand la constante de temps du circuit τ est positive et il est labile, quand la constante de temps est négative [7].

En admettant que les lampes à décharge dans les gaz ont une inductance propre positive L, la condition de stabilité est donnée par :

$$\tau = \frac{L}{R + R_i} > 0 \quad \text{d'où :} \quad -R_i < R \qquad (1)$$

ou R_i est la résistance interne de l'organe électrique, ce qui correspond à l'expérience.

Diverses mesures faites en courant alternatif ont montré aussi que les lampes à décharge dans les gaz ayant la caractéristique de la fig. 1 a se comportent en effet comme des inductances

(Herweg [8], Penning [9], Eisele [10], Cartianu [11])

Dans le cas des lampes dynatrons, en admettant qu'elles ont une capacité propre positive C en paral-

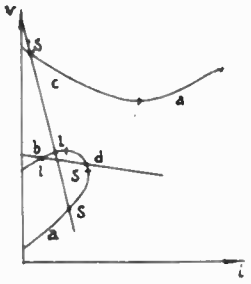


Fig. 3
La caractéristique statique de la lampe à décharge en gaz de F. M. Penning, avec deux branches à résistances négatives

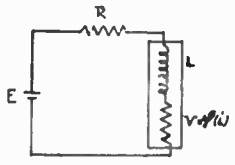


Fig. 4
Le schéma électrique d'un circuit avec un organe électrique d'inductance propre L.

lèle avec la résistance négative, la condition de stabilité est aussi celle vérifiée par l'expérience :

$$\tau = \frac{CR\ R_i}{R + R_i} > 0 \quad \text{d'où} \quad -R_i > R \qquad (2)$$

On vérifie aussi qu'en courant alternatif, des lampes dynatrons ayant les caractéristiques de la Fig. 2, se comportent comme une capacité (la capacité entre les électrodes).

Dans le cas des lampes à décharge dans les gaz, ayant la caractéristique de la Fig. 3, en admettant que sur la portion descendante d, la lampe se comporte comme une inductance négative, la condition de stabilité est celle trouvée par l'expérience :

$$\tau = \frac{-L}{R_i + R} > 0 \quad \text{d'où} \quad -R_i > R \qquad (3)$$

Les mesures faites, pour ces lampes, par C. S. Verhagen, [12] en courant alternatif, ont montré que sur la portion a, elles se comportent comme une inductance positive et sur la portion d comme une inductance négative.

Les cas étudiés nous montrent que si la caractéristique statique est telle, que la résistance différentielle passe des valeurs positives aux valeurs négatives par zéro, l'organe électrique se comporte comme une inductance et si l'on passe des valeurs positives aux valeurs négatives par l'infini, l'organe électrique se comporte comme une capacité ou comme une inductance qui passe en même temps que la résistance de plus au minus par des valeurs tendant vers l'infini.

Nous allons montrer que cette correspondance constatée expérimentalement entre la forme de la caractéristique statique et le genre des accumulateurs d'énergie électromagnétique (L ou C), dont l'organe électrique apparaît dans le circuit, peut être justifiée du point de vue phénoménologique.

Nous précisons en premier lieu que par la caractéristique statique, on entend le continum de tous les points (v, i) qui représentent les états stationnaires réalisables quand l'organe électrique est connecté à diverses forces électromotrices avec diverses impédances intérieures.

Nous allons considérer en premier lieu , un organe électrique avec une caractéristique statique $v = \varphi(i)$, ayant des régions à résistance négative, qui présente une inductance L. Nous admettons que la valeur de l'inductance dépend seulement de la valeur du courant. Pour un circuit électrique constitué par un organe électrique en série, avec une résistance R et une f. e. m. E. (Fig. 4), nous avons l'équation différentielle :

$$v = E - R\,i - L\,\frac{di}{dt} \qquad (4)$$

d'où l'on en déduit :

$$t = \int_{i_0}^{i} \frac{L\,di}{E - R\,i - \varphi(i)} \qquad (5)$$

i_0 étant la valeur initiale du courant. L'intégrale s'effectue sur la caractéristique statique ; elle se réduit à une sommation d'intégrales ordinaires effectuées sur chaque segment sur lequel i varie dans le même sens croissant ou décroissant.

La relation (5) définit le phénomène transitoire d'établissement d'un certain état stationnaire.

Ici il faut remarquer, qu'on doit faire une distinction entre les deux problèmes suivants :

a) Les conditions pour qu'un certain état stationnaire soit en équilibre stable (exprimées par les relations (1), (2), (3).

b) Les circonstances qui doivent être satisfaites, pour pouvoir atteindre un certain état en passant par tous les états intermédiaires.

Le premier problème peut être étudié aussi de la manière suivante : un état stationnaire étant réalisé après un temps infini, il en résulte que l'intégrale (5), pour laquelle on prend comme limite supérieure la valeur stationnaire i_s du courant, doit devenir infinie. Les valeurs i_s doivent être cherchées parmi celles qui annulent le dénominateur de l'expression (5). La valeur des i_s représente un état stable quant t tend vers l'infini par des valeurs positives, les seules qui ont un sens physique.

Nous supposons que dans l'intervalle $i_o - i_s$ l'expression E—R i — $\varphi(i)$ ne s'annule que pour $i = i_s$.

En notant avec i_1 une valeur de i, aussi près de i_s que nous voulons, nous pouvons écrire :

$$t = \int_{i_o}^{i_1} \frac{L\,di}{E - R\,i - \varphi(i)} + \int_{i_1}^{i_s} \frac{L\,di}{E - R\,i - \varphi(i)}$$

La première intégrale étant finie, t est infini quand la deuxième intégrale est infinie.

En developpant en série de Taylor le dénominateur de l'expression de la deuxième intégrale, nous avons :

$$\int_{i_1}^{i_s} \frac{L\,di}{E - R\,i - \varphi(i)} = \int_{i_1}^{i_s} \frac{L\,di}{|-\varphi'(i_s) - R|\,(i - i_s) - 1/2\,\varphi''(i_s)\,(i - i_s)^2 + \ldots} \qquad (6)$$

en admettant que $\varphi'(i)$ est continu et $\varphi''(i)$ fini dans l'intervalle $i_1 - i_s$. En admettant aussi que $\varphi'(i_s)$ n'est pas nulle et que L est une fonction continue de i dans l'intervalle $i_1 - 1$, et tend vers une valeur L_s pour $i = i_s$, l'intégrale (6) est finie en même temps que :

$$\int_{i_1}^{i_s} \frac{L\,di}{|-\varphi'(i_s) - R\,(i - i_s)} = \frac{L_s}{\varphi'(i_s) + R} \ln \frac{i - i_s}{i - i_o} \qquad (6')$$

parce que le quotient des expressions sous les signes des intégrales (6) et (6') tend vers 1 quand i tend vers i_s. (1)

Il s'ensuit que i_s représente un état stationnaire ($t \longrightarrow + \infty$) quand la relation suivante est satisfaite :

$$\frac{\varphi'(i_s) + R}{L_s} > 0$$

dans laquelle L_s a la valeur correspondant au point i_s et peut être positive ou négative. La condition de stabilité est donc la même que celle déjà établie.

En ce qui concerne le deuxième problème, on va partir du principe général que le développement d'un certain phénomène physique est continu et d'un état

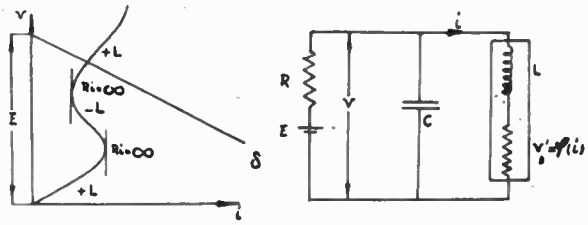


Fig. 5
L'inductance propre de la lampe change de signe en même temps que la résistance différentielle dans les organes électriques du type « dynatron ».

Fig. 6
Le schèma électrique d'un circuit avec un organe électrique d'inductance propre L, en parallèle avec une capacité C.

à un autre on doit passer par tous les états intermédiaires. Pour nous trouver dans le cas réel, nous allons prendre dans la relation (5) $i_o = 0$, tout courant stationnaire obtenu pouvant être pris, comme un nouvel état initial.

Nous admettons que l'organe électrique considéré, a une caractéristique bien déterminée, relevée expérimentalement (Fig. 5) qui passe par l'origine et qui peut avoir plusieurs points dans lesquels di et dv changent de signe quand on parcourt la courbe

(1) De la Vallée Poussin. — Cours d'Analyse infinitésimale p. 11 Tome 1 (1926).

dans un certain sens. En tout moment, à un certain état, correspond un point de coordonnés i, $\varphi(i)$ qui se déplace continuellement sur la courbe statique et l'intégrale (5) est prise sur cette courbe.

Pour simplifier, nous prenons la tension E et la droite de charge de telle manière, qu'elle rencontre la caractéristique dans un seul point. La droite de charge divise le plan en deux régions. L'expression $E—R_i — \varphi(i)$ est toujours positive dans la région qui contient l'origine et donc pour tous les points de la caractéristique avant d'atteindre le point correspondant à l'état stationnaire.

On peut toujours considérer les grandeurs physiques i et $\varphi(i)$ comme des fonctions continues d'un paramètre. Le paramètre s peut être par exemple, la longueur de l'arc de la courbe, en prenant un certain point comme origine :

$$i = p(s),\ \varphi(i) = q(s)$$

L'inductance L ayant une valeur bien définie en tout point de la caractéristique, on peut aussi écrire :

$$L = r(s)$$

La fonction L n'est pas nécessairement continue, en pouvant devenir infinie pour des valeurs finies de s.

En tenant compte que :

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{ds} \cdot \frac{ds}{dt}$$

l'équation (4) peut être écrite sous la forme :

$$\frac{ds}{dt} = \frac{E - R\,p(s) - q(s)}{r(s)\,P'(s)} \qquad (7)$$

On doit observer que ds/dt qui représente la vitesse de développement du phénomène est une fonction finie de s, qui pour une valeur de s plus petit que la valeur s_r, au point stationnaire, ne peut pas devenir négative, condition absolument nécessaire afin que l'état stationnaire soit atteint.

D'autre part, parce qu'on peut toujours choisir E et R tels que l'expression $E—Rp(s) — q(s)$ soit positive, pour toute valeur de s moindre qu'une certaine valeur s_r, il résulte que l'expression :

$$1/r(s)\,p'(s) \qquad (7)$$

ne peut pas devenir infinie ou positive.

On en conclut qu'aux points ou $p'(s)$ devient zéro (la résistance différentielle infinie), $r(s)$ devient infini et change de signe ou non en même temps que $p'(s)$. Ces conclusions correspondent entièrement aux résultats expérimentaux.

On doit remarquer que dans le traitement de plus haut, on n'a pas tenu compte de la capacité en parallèle avec l'organe électrique qui intervient toujours dans le montage réel.

Nous allons considérer maintenant le montage réel représenté dans la fig. 6. Les équations différentielles du circuit électrique sont :

$$\varphi(i) + L\frac{di}{dt} = v \qquad (8)$$

$$E - R\left(i + C\frac{dv}{dt}\right) = v \qquad (9)$$

d'où on en déduit :

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{di}{dt}\left(\frac{1}{RC} + \frac{\varphi'(i)}{L}\right) + \frac{\varphi(i) + Ri - E}{RCL} = 0$$

dont la fonction intégrale peut être facilement calculée seulement quand L est constant et $\varphi(i)$ est une fonction linéaire de i.

Ici nous cherchons à établir seulement les conditions qui doivent être satisfaites afin qu'un certain état stationnaire représenté par un point de la caractéristique statique soit possible. Nous admettons comme plus haut, que cette caractéristique existe, ce qui signifie qu'on peut trouver une f. e. m. E., une résistance R et une capacité C avec lesquelles on peut réaliser un certain état stationnaire. Nous admettons aussi que L dépend seulement de la valeur du courant.

Nous allons nous aider aussi dans les démonstrations que nous allons faire par les méthodes de résolution données par A. Lienard [13] et R. Usui [14].

En nous rapportant à la fig. 7, on peut écrire les équations (8) et (9) sous la forme :

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}\overline{AP} \qquad (10) \qquad\qquad \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C}\overline{PB} \qquad (11)$$

P étant un point de la courbe intégrale.

On remarque que dv est positif quand P se trouve

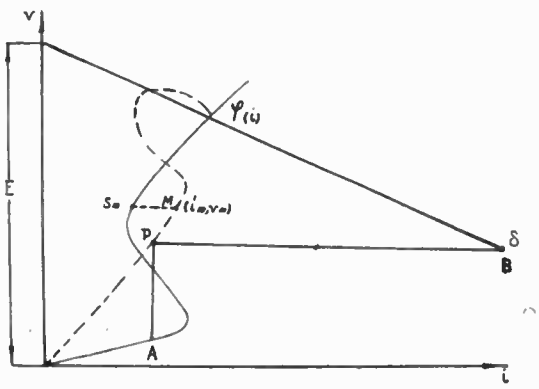


Fig. 7
La caractéristique statique et la courbe dynamique, décrites par le point P (i, v) dans le cas du circuit de la fig. 6, dans le phénomène d'établissement de l'état secondaire

au-dessus de la droite de charge δ et négative au-dessous et Ldi est positif au-dessus de la portion considérée de la caractéristique statique et négatif au-dessous.

En introduisant comme plus haut le praramètre s comme variable, la relation (10) devient :

$$\frac{ds}{dt} = \frac{AP}{r(s)\,p'(s)} \qquad (10')$$

Dans la première partie de la caractéristique où la résistance est positive, l'inductance L a aussi une valeur positive et différente de zéro, parce qu'en cette région on peut obtenir les points stables avec des résistances de charge positives. En ce cas on peut démontrer qu'on peut toujours trouver une valeur

assez grande pour E et une valeur assez petite pour R, tellement que v dépasse une valeur v_m, aussi grande que nous voulons, en cette région.

Nous pouvons aussi supposer que la droite δ rencontre la caractéristique statique en un point assez loin que nous voulons, dans la région des résistances positives.

Il résulte immédiatement que $\overline{AP}$, en tout cas, ne peut pas devenir négative ou s'annuler, pour des valeurs de $\varphi(i) = q(s)$ moindres que v_m et donc pour s moindre que s_m ; cela est toujours valable quand le point P se trouve au-dessous de la droite de charge et d'autant plus quand le point se trouve au-dessus de la droite.

D'autre part ds/dt devant prendre nécessairement des valeurs finies qui ne sont pas négatives, afin que l'état stable soit atteint, on en conclut, comme plus haut, qu'aux points ou $p'(s)$ devient zéro, $r(s)$ devient infini et change de signe ou non en même temps que $p'(s)$: mais si $p'(s)$ ne s'annule jamais, $r(s)$ reste toujours positif.

On peut donc conclure, que si un organe électrique se comporte comme une inductance en série avec une résistance, celle-ci devient infinie aux points où la résistance différentielle passe par infini en changeant de signe, ou non, en même temps ; mais si la résistance ne devient jamais infinie, l'inductance reste toujours positive.

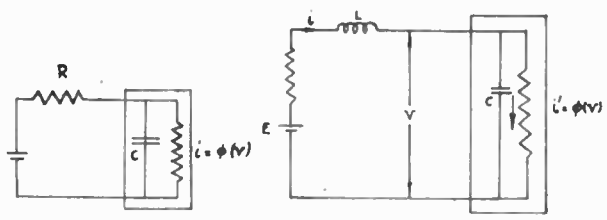


Fig. 8
Le schéma électrique d'un circuit avec un organe électrique de capacité propre C.

Fig. 9
Le schéma électrique d'un circuit avec un organe électrique de capacité propre C, en série avec une inductance L.

On considère maintenant un organe électrique avec une caractéristique statique $i = \Phi(v)$, qui présente une capacité C en parallèle. Pour le circuit électrique constitué par l'organe électrique en série avec une résistance R et une f. e. m. E (fig. 8) nous pouvons écrire l'équation différentielle :

$$E = R\left(C\frac{dv}{dt} + i\right) + v = RC\frac{dv}{dt} + R\,\Phi(v) + v$$

On en déduit :

$$t = \int_{v_0}^{v} \frac{RC}{E - R\,\Phi(v) - v} \qquad (12)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{E - R\,\Phi(v) - v}{RC} \qquad (13)$$

Par le même raisonnement que dans le cas précédent on déduit de la première relation de condition de stabilité :

$$\frac{1}{C}\left(\Phi'(v) + \frac{1}{R}\right) > 0 \qquad (14)$$

et de la deuxième relation, en admettant que C est une fonction seulement de v, il résulte :

Si un organe électrique présente une capacité en parallèle avec une résistance, celle-ci devient infinie aux points où la résistance différentielle passe par zéro, en changeant le signe ou non en même temps ; mais si la résistance ne s'annulle jamais, la capacité reste toujours positive.

On arrive aux mêmes conclusions en considérant un montage où l'organe électrique se trouve en série avec une inductance (Fig. 9).

Les conclusions auxquelles nous sommes arrivés correspondent parfaitement aux résultats expérimentaux.

On a traité ici seulement quelques cas particuliers, mais l'analyse serait très difficile si on considérait le cas plus général d'un organe électrique équivalant à un circuit électrique quelconque.

Les conditions générales de stabilité et labilité en courant continu dans le cas d'un circuit quelconque.

S'il est difficile de trouver dans le cas général la correspondance entre la caractéristique statique et les paramètres dynamiqes, nous pouvons toutefois établir les conditions générales de stabilité, en courant continu. Nous entendons par conditions de stabilité en courant continu les conditions que les paramètres du circuit doivent satisfaire pour avoir stabilité ou instabilité quand la résistance de courant continu passe par zéro en changeant de signe. (1) Nous admettons que dans le voisinage du point où la résistance de courant continu est zéro, aussi petite que serait cette valeur, nous pouvons avoir stabilité. Nous remarquons qu'en général les paramètres du circuit sont des fonctions de l'intensité du courant i et de la tension v, mais pour établir les conditions de stabilité nous supposons que i et v varient très peu autour de certaines valeurs et pour ces variations nous pouvons considérer les paramètres constants. En ce cas, les relations pour un circuit électrique s'expriment par des équations différentielles linéaires à coefficients constants.

Les conditions générales de stabilité s'énoncent par le théorème suivant : il y a stabilité lorsque les parties réelles de toutes les racines S_i de l'équation caractéristique sont négatives ; il y a instabilité, si la partie réelle de l'une de ces racines est positive.

Si $Z(p)$ est la fonction impédance du circuit électrique, les racines de l'équation caractéristique sont données par : (2)

$$Z(p) = 0$$

Pour trouver les conditions de stabilité et instabilité en courant continu nous supposons que la résistance totale de courant continu prend des valeurs près de zéro, aussi petites que nous voulons.

La racine de l'équation qui s'annule en même temps que la résistance de courant continu est donnée en ce cas par :

(1) Pour la définition de la stabilité voir E. Goursat, Cours d'analyse Mathématique p. 25, t. III, 1942.

(2) Busche, V. Operational Circuit Analysis, 1928, p. 45.

$$P_0 = \frac{Z(o)}{Z'(o)} \qquad (15)$$

Nous supposons que $Z'(o)$ est différent de zéro.

Cette résistance change de signe en même temps que la résistance de courant continu.

Nous supposons aussi que toutes les autres racines ont la partie réelle négative et cette supposition est toujours valable, quand un état stable est possible, dans le voisinage de la résistance zéro.

En ces conditions le système est stable quand :

$$\frac{Z(o)}{Z'(o)} > 0$$

et instable quand :

$$\frac{Z(o)}{Z'(o)} < 0$$

$Z(p)$ est une fonction rationnelle de la variable complexe p, qu'on peut développer en série :

$$Z(p) = Z(0) + Z'(0)\,p + \frac{1}{2} Z''(0)\,p^2 \ldots$$

et pour $p = j\omega$

$$Z(j\omega) = R + jX = Z(0) + jZ'(0)\,\omega - \frac{1}{2} Z''(0)\,\omega^2$$

On constate que $Z'(O)\,\omega$ est égale à la réactance du circuit quand ω tend vers zéro, que nous allons dénommer la *réactance du circuit à fréquence zéro.*

Quand la réactance du circuit à fréquence zéro est positive, le système est stable si la résistance de courant continu est positive et instable si la résistance est négative.

C'est le cas des organes électriques à inductance positive ou à capacité négative.

Quand la réactance du circuit à fréquence zéro est négative, les conditions de stabilité sont inverses que dans le cas précédent.

C'est le cas des organes électriques à inductance négative ou capacité positive.

Nous allons appliquer maintenant les résultats obtenus, aux organes électriques avec les lampes à réaction positive de tension et de courant, en courant continu, du type de celles réalisées par K. Steimel.

La fonction impédance est en général de la forme :

$$z(p) = \frac{P(p)}{Q(p)}$$

$P(p)$ et $Q(p)$ étant des polynômes entiers de p. On en déduit :

$$Z'(O) = \frac{P'(O)\,Q(O) - Q'(O)\,P(O)}{Q^2(O)}$$

Pour les valeurs des paramètres pour lesquelles $Z(O)$ et $P(O)$ sont rapprochés de zéro, nous pouvons écrire :

$$Z'(O) = \frac{P'(O)}{Q(O)}$$

D'autre part, en admettant que nous n'avons d'autres racines positives que P_0 :

$$\frac{P'(O)}{p(\infty)} > 0$$

Il résulte que $Z'(O)$ a le signe du rapport :

$$P(\infty) \,/\, Q(O).$$

L'impédance interne des organes électriques à lampes électroniques en montage à réaction de courant, est donnée par la relation :

$$\rho' = \rho\,(1 - S k_1)$$

et en montage à réaction de tension, elle est donnée par la relation :

$$\rho' = \rho \frac{1}{1 - \mu k_2}$$

ou k_1 et k_2 sont respectivement les coefficients de réaction de courant et de tension et μ, ρ et S, respectivement les facteurs d'amplification, la résistance interne et la pante de la lampe électronique sans réaction.

Les facteurs k_1 et k_2 sont en général des fonctions rationnelles de p, de la forme : $A_m(p)\,/B_n(p)$, où $A_m(p)$ et $B_n(p)$ sont des polynômes de p, respectivement de puissance m et n. Dans les montages à réaction, physiquement réalisables, les fonctions de p, k_1 et k_2 deviennent zéro quand p tend vers l'infini. [15], d'où il résulte que n est plus grand que m.

Quand nous faisons $p = 0$ dans les relations (16) et (17), nous obtenons les résistances en courant continu.

Les valeurs de S et μ sont en général variables avec le point de fonctionnement et quand les coefficients k_1 et k_2 sont positifs (réaction positive), il peut arriver que le facteur $1 - Sk_1$, ou $1 - \mu k_2$, dans l'expression de la résistance en courant continu ($p = 0$) s'annulle en changeant de signe.

Dans le premier cas, la résistance de l'organe électrique change de signe en s'annulant ; nous avons un organe électrique de la première classe (le type à arc) et dans le deuxième cas la résistance de l'organe électrique change de signe en passant par l'infini ; nous avons un organe électrique de la deuxième classe (le type dynatron) [16].

Si l'organe électrique est en série avec une impédance Z dans le circuit électrique, l'impédance totale est donnée par les expressions :

$$Z_t = Z_e + \rho\,(1 - S k_1\,(p) \qquad (18)$$

et

$$Z_t = Z_e + \rho \frac{1}{1 - \mu k_2\,(p)} \qquad (19)$$

Z_e est une fonction rationnelle de p de la forme $C(p) / D(p)$, ou $C(p)$ et $D(p)$ sont des polynômes de p.

L'impédance totale peut être exprimée par les expressions :

$$Z_t = \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{C(p)}{D(p)} + \rho \frac{Bn(p) - SA\,m(p)}{Bn(p)} \qquad (18')$$

et

$$Z_t = \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{C(p)}{D(p)} + \rho \frac{B_n(p)}{B_n(p) - \mu A_m(p)} \qquad (19')$$

En supposant que l'impédance Z_e et les coefficients de couplage k_1 et k_2 correspondent à des circuits avec des résistances, inductances et capacités positives, il en résulte que les coefficients des polynômes A (*p*), B (*p*), C (*p*) et D (*p*) sont tous positifs. En tenant compte que la puissance du polynôme $B_n'(p)$ est plus grande que celle du polynôme A_m (*p*) on déduit que P (∞) est toujours positif.

D'autre part, en remarquant que dans l'expression (18′) Q (O) est positif et dans l'expression (19′) Q (O) est négatif, on déduit que dans le premier cas Z′ (O) est positif et dans le deuxième cas Z′ (O) est négatif. On vérifie ainsi, pour les organes électriques à réaction positive de tension ou de courant à résistance négative, que les conditions de stabilité

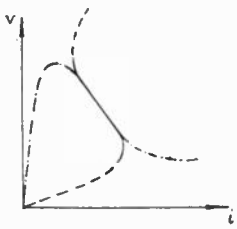


Fig. 10
Deux caractéristiques d'organes électriques de classe différentes, avec la portion de résistance négative commune.

et labilité sont celles de la classe à laquelle elles appartiennent, résultats confirmés par l'expérience. On constate en même temps, que les premières se comportent comme une réactance positive et les deuxièmes comme une réactance négative, à la fréquence zéro.

CONCLUSION

Si nous considérons seulement la partie à résistance négative d'une caractéristique statique (la portion en ligne interrompue dans la fig. 10) elle peut appartenir à un type, ou à un autre des organes électriques et elle ne nous dit rien sur les conditions de stabilité et instabilité dans un point, sur cette portion de la caractéristique ; cette indécision est écartée quand nous connaissons la forme de la caractéristique statique entière, parce que nous avons démontré qu'à une certaine forme de la caractéristique statique ne peuvent correspondre que certains paramètres dynamiques et par conséquent certaines conditions de stabilité.

Ainsi la représentation d'un organe électrique avec une caractéristique du type dynatron en se comportant comme une inductance, ou d'une caractéristique du type à arc, se comportant comme une capacité apparaît ainsi sans aucun sens physique. (1)

Nous remarquons aussi, que le schéma réel d'un oscillateur avec un organe électrique de la première classe, doit nécessairement être étudié avec une inductance en série avec la résistance négative, et le schéma réel d'un oscillateur avec un organe électrique de la deuxième classe, doit être étudié avec une capacité en parallèle avec la résistance négative.

On doit mentionner que la correspondance entre les caractéristiques statiques et les paramètres dynamiques a été relevée aussi par E. Friedlander, dans l'article cité.

BIBLIOGRAPHIE

1. — H. Rothe — W. Kleen. — Elektronenröhren als Schwingungserzeuger und Gleichrichter. *Bücherei der Hochfrequenztechnik* (Band 15. p. 1-9).
2. — Ph. Le Corbeiller. — Le mécanisme de la production des oscillations. *Annales des postes, Télégraphes et Téléphones.* Août 1932. 37 pg.
3. — K. Steimel. — Die Stabilität und Selbsterregung elektrischer Kreise mit Organen fallender Charakteristik. *Jahrbuch Drahtl. Telegr. u. Teleph.* 36 (1930) 161-172.
4. — F. M. Penning. — Zweierlei negative Charakteristiken bei selbstständigen Gasentladungen. *Physik. Z.* 33 (1932) 816.
5. — W. Kaufmann. — Elektrodynamische Eigentümlichkeiten leitender Gase. *Annalen der Physik* 2 (1900) 158/178.
6. — H. Barkhausen. — Warum kehren sich die für den Lichtbogen gültigen Stabilitätsbedingungen bei Eletronenröhren um. *Physik Z.* 27 (1926) 43/46.
7. — E. Friedländer. — Ueber Stabilitatsbedingungen und ihre Abhängigkeit von Steuerorganen und Energiespeicher. *Physik. Z.* 27 (1926) 361|366.
8. — J. Herweg. — *Physik. Z.* 13 (1912) 633.
9. — F. M. Penning. — Ueber die intermittierende Glimmentladungen in Neon. *Physik. Z.* 7. (1926) 187/196.
10. — S. Eisele. — *Funktechnische Monatshefte* 4 (1938) 102.
11. — G. Cartianu. — L'impédance à base fréquence des lampes à décharge en gaz. *Publicatiile Academiei de Stiinte din România. Memorii si Monografii nr.* 23. 1945.
12. — G. S. D. M. Verhagen. — Impedanzmessungen an Gasentladungsröhren. *Physika III* (1941) 362/376.
13. — A. Lienard. — Etude des Oscillations entretenues. *Revue Générale d'Electricité* 23 (1928) 901/912, 946/954.
14. — R. Usui. — A fundamental concept for oscillators. *Nippon Electr. Comm. Engr.* (Sept 1935) 34.
15. — E. Peterson, J. B. Kreer and L. A. Ware. — Regeneration Theory and Experiment. *The Bell system technical Journal.* XIII (1934) 680/700.
16. — T. Tanasesco. — La réaction Mixte dans les amplificateurs, *Buletinul Politechnicei din Bucuresti* 13 (1942) 466/478.

(1) Voir une telle représentation dans le traité : Elektronenrohren al Schwingungserzeuger und Gleichrichter. H. Rothe, W. Kleen, p. 30-31

Imprimerie Marcel Bon, Vesoul 31.0473 — Dépôt légal : 1er trimestre 1949 — I. nº 25 — E. nº 20 — La Gérante : Mme Chiron